

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **DIPLOMSKI RAD**

*Davor Novotni*

Zagreb, srpanj 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

**DIPLOMSKI RAD**  
**Informacijski i radni sustav ispitnog postava MSUI**

Mentor:

*Prof. dr. sc. Zoran Lulić*

*Davor Novotni*

Zagreb, srpanj 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći stečena znanja tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Zoranu Luliću te doktorandima Anti Vučetiću, Mladenu Božiću i Mariju Sremecu na stručnoj pomoći, savjetima i uputama pri izradi rada.

Davor Novotni



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za diplomske ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet strojarstva i brodogradnje
Datum <u>13-07-2017</u> Prilog
Klasa: <u>602-04/17-6/4</u>
Ur. broj: <u>15-1703-17-267</u>

## DIPLOMSKI ZADATAK

Student: **Davor Novotni**

Mat. br.: 0035175153

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **Informacijski i radni sustav ispitnog postava MSUI**

Naslov rada na engleskom jeziku: **Information and Working System of ICE Testbed**

**Opis zadatka:**

Za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem koriste se ispitne kabine opremljene odgovarajućom opremom. Obzirom na kompleksnost postupka ispitivanja i potrebne mjerne opreme od iznimne je važnosti imati na raspolaganju odgovarajuću tehničku dokumentaciju pojedinih podsustava.

Za postojeću ispitnu kabinu u Laboratoriju za motore i vozila u okviru diplomskog rada treba izraditi dokumentacijski sustav koji će obuhvatiti praktički sve bitne informacije o ugrađenim uređajima i mornoj opremi.

U sklopu rada potrebno je:

- Napraviti kratki opis postupka ispitivanja motora s unutarnjim izgaranjem
- Izraditi kontrolni proračun sustava ventilacije ispitne kabine, te izračunate vrijednosti usporediti sa stvarnim tj. izmjerenim vrijednostima.
- Dokumentirati izvedeno stanje u ispitnoj kabini (sjeverna „crvena“ kabina). U okviru postupka dokumentiranja izvedenog stanja obraditi:
  - Građevinske mjere ispitne kabine i ugrađene opreme.
  - Panele za zvučnu izolaciju ispitne kabine.
  - Električni priključak na vanjsku elektroenergetsku mrežu kao i sve električne priključke unutar ispitne kabine. (Iskoristiti postojeću dokumentaciju, a po potrebi nadopuniti je poznatim izvedenim izmjenama.)
  - Izraditi shemu upravljanja ispitnog postava. Posebno popisati sve priključke i programe.
- Obzirom na predstojeće planove vezane uz Laboratorij u radu treba razraditi preseljenje postojećeg ispitnog postava na privremenu lokaciju te stavljanje postava u funkciju na novoj lokaciji. (Detalje o alternativnoj lokaciji dogovoriti s mentorom.)
- Za postavljanje ispitnog sustava na novoj lokaciji treba izraditi kontrolni proračun rashladnog i ventilacijskog sustava, kao i kontrolu raspoloživog napajanja električnom energijom.
- Izraditi troškovnik za predloženo rješenje.
- Prema dogovoru s mentorom izraditi tehničku dokumentaciju pojedinih odabranih rješenja.

Pri izradi se treba pridržavati uobičajenih pravila za izradu diplomskoga rada. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datumi obrane:

11. svibnja 2017.

13. srpnja 2017.

19., 20. i 21. srpnja 2017.

Zadatak zadao:

Predsjednica Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Zoran Lulić

Prof. dr. sc. Tanja Jurčević Lulić

## **Sažetak**

Zadatak ovog diplomskog rada je dokumentirati postojeće stanje kabine za ispitivanje malih motora s unutarnjim izgaranjem snage do 30 kW. Da bi se vršila ispitivanja potreban je čitav niz međusobno povezanih uređaja. S obzirom na kompleksnost postupka ispitivanja i potrebne opreme važno je obuhvatiti sve bitne informacije o ugrađenim uređajima i mjernoj opremi.

U okviru rada ponuđeno je idejno rješenje preseljenja sjeverne „crvene“ ispitne kabine na novu lokaciju u prostoru čija je trenutna namjena ispitivanje sidrišta sjedala. Uz ispitnu kabinu u okviru razrade rješenja preseljenja uzeta je u obzir sva potrebna oprema za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem. Uz to, ponuđeno je konstrukcijsko rješenje nosača ventilacije te su za odabrano rješenje preseljenja procijenjeni troškovi.

Za izradu skica i shema, te izradu CAD modela i tehničke dokumentacije korišteni su programi *Autocad*, *MS Visio* i *SolidWorks*.

## Sadržaj

1.	Uvod.....	1
2.	Postupak ispitivanja motora s unutarnjim izgaranjem .....	3
2.1	Mehanička kočnica .....	4
2.2	Hidrauličke kočnice .....	4
2.3	Električne kočnice .....	6
2.4	Kočenje motora i mjerenje .....	7
3.	Kontrolni proračun sustava ventilacije ispitne kabine .....	9
3.1	Potrebna količina zraka za izgaranje .....	9
3.2	Produkti izgaranja.....	10
3.3	Odvođenje topline ispitne kabine .....	11
3.4	Postojeći sustav ventilacije .....	15
4.	Dokumentacija postojećeg stanja ispitne kabine.....	19
4.1	Pozicija ispitnog postava .....	19
4.2	Važnija oprema ispitnog postava.....	22
4.3	Upravljanje ispitnim postavom.....	24
4.3.1	Upravljanje elektromotornom kočnicom .....	24
4.3.2	Tok upravljanja kočnicom motora .....	29
4.3.3	Upravljanje i nadziranje rada ispitnog motora .....	33
4.4	Tok zraka ispitnog postava .....	35
4.5	Tok goriva ispitnog postava .....	40
4.6	Zaštita od buke.....	44
4.6.1	Paneli za zvučnu izolaciju ispitne kabine.....	47
4.7	Najveća angažirana snaga električne energije .....	49
5.	Razrada preseljenja ispitnog postava .....	50
5.1	Idejno rješenje pozicioniranja ispitnog postava.....	51
5.2	Sustav ventilacije nove lokacije ispitne kabine .....	55
5.2.1	Kontrolni proračun sustava ventilacije nove lokacije ispitne kabine.....	57

5.2.2	Troškovi ventilacijskog sustava .....	61
5.3	Unaprijeđenje sustava ventilacije .....	62
5.4	Pregradni zid ispitne kabine i kontrolne sobe.....	64
5.4.1	Troškovi postavljanja pregradnog zida .....	66
5.5	Sustav klimatizacije kontrolne sobe .....	68
5.6	Sustav cirkulacije vode .....	69
6.	Nosači ventilacije .....	70
6.1	Proračun nosača ventilacije .....	71
6.1.1	Proračun zavora nosača .....	72
6.1.2	Proračun vijaka nosača .....	74
6.2	Trošak izrade nosača ventilacije .....	75
7.	Procjena troškova preseljenja ispitnog postava.....	76
8.	Zaključak .....	79

## Popis slika

Slika 1.1 Tlocrt sjeverne ispitne kabine .....	1
Slika 1.2 Tlocrt zgrade Laboratorije za motore i vozila s označenom trenutnom lokacijom (1) i novom lokacijom ispitne kabine za eksperimentalni motor (2) .....	2
Slika 2.1 Shematski prikaz Pronijeve mehaničke kočnice [1] .....	4
Slika 2.2 Presjek hidraulične kočnice za mjerenje snage motora [2] .....	5
Slika 2.3 Shematski prikaz kočnice na vrtložne struje [5] .....	7
Slika 2.4 Shema spajanja kočnice, motora i mjernih uređaja [1] .....	8
Slika 3.1 Bilanca masa motora s unutarnjim izgaranjem .....	9
Slika 3.2 Bilanca energije motora s unutarnjim izgaranjem prikazana Sankeyevim dijagramom [7] .....	12
Slika 3.3 Bilanca energije ispitnog postava .....	13
Slika 3.4 Dimenzije ispitne kabine.....	16
Slika 3.5 Postojeći ventilator za dovođenje zraka.....	17
Slika 3.6 Postojeći ventilator za odvođenje zraka.....	18
Slika 4.1 Tlocrt dijela Laboratorija za motore i vozila za ispitivanje motora.....	19
Slika 4.2 Pozicija važnije opreme sjeverne kabine (legenda tablica 4.2).....	22
Slika 4.3 Razvodno-upravljački ormar RO1 .....	24
Slika 4.4 Prikaz upravljačkog panela .....	27
Slika 4.5 Shema napajanja od razvodno-upravljačkog ormara RO1 .....	28
Slika 4.6 Oznake simbola shemi toka pokretanja i upravljanja sustava.....	29
Slika 4.7 Dijagram toka pokretanja sustava [11].....	30
Slika 4.8 Dijagram toka upravljanja brzinom vrtnje ( $n/\alpha$ režim).....	31
Slika 4.9 Dijagram toka upravljanja momentom kočnice ( $T/\alpha$ režim) .....	32
Slika 4.10 Razvodni ormar RO2 .....	33
Slika 4.11 Upravljački ormar ispitnog motora O3M.....	34
Slika 4.12 Shema napajanja od upravljačkog ormara motora O3M .....	34



Slika 4.13 Prikaz višestrukih monitora za nadzor i praćenje ispitivanja.....	35
Slika 4.14 Shema toka zraka, vode i pogonskog plinovitog goriva ispitnog postava (legenda tablica 4.1).....	36
Slika 4.15 Kompresor zraka Boge SD 24-2 .....	37
Slika 4.16 Spremnik zraka .....	37
Slika 4.17 Regulator tlaka zraka .....	38
Slika 4.18 Senzor masenog protoka zraka .....	38
Slika 4.19 Zaklopka snage Bosch PBT GF30 .....	39
Slika 4.20 Grijač zraka Sylvania SureHeat Max.....	39
Slika 4.21 EGR ventil.....	40
Slika 4.22 Shema toka goriva ispitnog postava za dizelsko gorivo .....	41
Slika 4.23 Shema toka goriva ispitnog postava za benzin .....	41
Slika 4.24 Shema toka goriva ispitnog postava za plinovito gorivo (metan).....	42
Slika 4.25 Mjerač protoka plinova, Coriolis .....	42
Slika 4.26 Elektromotor pumpe goriva .....	43
Slika 4.27 Razina buke u kontrolnoj sobi pri radu MSUI na $1600 \text{ min}^{-1}$ s otvorenim vratima (lijevo) i sa zatvorenim (desno).....	46
Slika 4.28 Razina buke u kontrolnoj sobi pri radu MSUI na $2000 \text{ min}^{-1}$ s otvorenim vratima (lijevo) i sa zatvorenim (desno).....	46
Slika 4.29 Razina buke u dvorištu LMV (istok – prema stambenim zgradama) .....	46
Slika 4.30 Prikaz rasporeda rupa na perforiranom limu izolacijskih panela.....	47
Slika 4.31 Prikaz dijela izolacijskih panela (gore); razmak između vodilica (dolje).....	48
Slika 5.1 Tlocrt nove lokacije ispitnog postava .....	50
Slika 5.2 Idejno rješenje rasporeda ispitnog postava (legenda tablica 4.2).....	52
Slika 5.3 3D model rasporeda opreme ispitne kabine – pogled prema jugozapadu.....	53
Slika 5.4 3D model rasporeda opreme ispitne kabine – pogled prema jugoistoku .....	54
Slika 5.5 Trenutni izgled prozora zapadnog zida za smještaj ventilacije ispitne kabine .....	55
Slika 5.6 Prikaz pozicije ventilacije ispitne kabine – pogled prema istoku .....	55

Slika 5.7 Prikaz pozicije ventilacije ispitne kabine – tlocrt .....	56
Slika 5.8 Prikaz klima komore Compact Plate CPL 7000 (lijevo) i shematski prikaz toka zraka (desno) [16] .....	63
Slika 5.9 Prikaz dimenzija pregradnog zida ispitne kabine i kontrolne sobe (pogled prema jugu) .....	64
Slika 5.10 Prikaz gipsanokartonke ploče (lijevo), i kamene vune za izolaciju (desno) .....	65
Slika 5.11 Presjek pregradnog zida .....	65
Slika 5.12 Prikaz pozicije ugradnje klimatizacijskog uređaja kontrolne sobe .....	69
Slika 5.13 Pumpa vode (lijevo)[20] i ekspanzijska posuda 50 l (desno) [21].....	69
Slika 6.1 3D model nosača ventilacije .....	70
Slika 6.2 3D prikaz pozicije nosača ventilacije – pogled prema zapadnom zidu .....	70
Slika 6.3 Opterećenje nosača ventilacije.....	72
Slika 6.4 Dimenzije zvara kvadratnih cijevi i L profila .....	72
Slika 6.5 Prikaz opterećenja nosača i pozicije vijaka.....	74

## Popis tablica

Tablica 3.1 Tehničke specifikacije ventilatora za dovođenje zraka [9] .....	17
Tablica 3.2 Tehničke specifikacije ventilatora za odvođenje zraka [10] .....	18
Tablica 4.1 Popis radnih i kalibracijskih plinova .....	21
Tablica 4.2 Važnija oprema ispitnog postava .....	23
Tablica 4.3 Glavne komponente sustava upravljanja elektromotornom kočnicom [11] .....	26
Tablica 4.4 Dopusštene razine buke u otvorenom prostoru [14] .....	44
Tablica 4.5 Dopusštene razine buke u zatvorenom prostoru s obzirom na vrstu djelatnosti [15] .....	45
Tablica 4.6 Izračun najveće angažirane snage el. energije .....	49
Tablica 5.1 Troškovnik ventilacijskog sustava ispitne kabine .....	61
Tablica 5.2 Tehnički podaci klima komore [16] .....	63
Tablica 5.3 Troškovnik postavljanja pregradnog zida ispitne kabine i kontrolne sobe .....	67
Tablica 5.4 Tehnički podaci split sustava klimatizacijskog uređaja kontrolne sobe [19] .....	68
Tablica 6.1 Troškovnik izrade dva nosača ventilacije .....	75
Tablica 7.1 Troškovnik .....	76

# Popis oznaka i mjernih jedinica fizikalnih veličina

## Latinične oznake

Oznaka	Jedinica	Opis
$A$	$m^2$	Površina kabine bez sustava odvođenja zraka
$A_k$	$m^2$	Površina kabine bez sustava odvođenja zraka
$A_{k'}$	$m^2$	Površina kabine bez sustava odvođenja zraka
$A_{vij}$	$mm^2$	Površina jezgre vijka
$A_z$	$mm^2$	Površina zavora
$A_{z,tan}$	$mm^2$	Površina zavora paralelna s opterećenjem
$c_z$	$kJ/kgK$	Specifični toplinski kapacitet zraka
$e$	$mm$	Najveća udaljenost zavora od promatrane osi
$F_{vij}$	$N$	Sila u vijku
$F_t$	$N$	Sila tereta nosača ventilacije
$g$	$m/s^2$	Gravitacijsko ubrzanje
$g_e$	$kg/kWh$	Specifična potrošnja goriva
$G_n$	$N$	Težina nosača ventilacije
$I_{x,zav}$	$mm^4$	Moment tromosti zavora
$I_{xt,zav}$	$mm^4$	Moment tromosti zavora u težištu
$k$	$W/(mK)$	Koeficijent toplinske provodljivosti
$L_{A,eq}$	$dB$	Dopuštena razina buke za zatvoreni prostor
$L_{RAeq}$	$dB$	Dopuštena razina buke za otvoreni prostor
$\dot{m}$	$kg/h$	Količina produkata izgaranja
$m_f$	$kg$	Masa elementa filtra ventilacije usisa
$M_f$	$Nm$	Moment savijanja nosača ventilacije
$m_{G,h}$	$kg/h$	Satna potrošnja goriva
$m_k$	$kg$	Masa koljena ventilacije usisa
$m_n$	$kg$	Masa nosača ventilacije
$m_s$	$kg$	Masa spojnog elementa ventilacije
$m_t$	$kg$	Masa tereta nosača ventilacije
$m_v$	$kg$	Masa ventilatora usisa
$n$	$min^{-1}$	Brzina vrtnje motora
$n_k$	$h^{-1}$	Broj izmjena volumena zraka u ispitnoj kabini
$n_z$	-	Omjer protoka zraka kompresora i ispitnog motora

$P_{i,k}$	kW	Potrebna snaga za hlađenje ispitne kabine
$P_{k,k}$	kW	Potrebna snaga klima komore
$P_{komp,e}$	kW	Maksimalna snaga kompresora zraka
$P_{komp,z}$	kW	Snaga kompresora zraka za MSUI snage 30 kW
$Q_I$	MJ/h	Toplina dovedena gorivom
$Q_{hl}$	MJ/h	Toplina odvedena hlađenjem motora
$Q_{isp}$	MJ/h	Toplina ispušnih plinova koju je potrebno odvesti
$Q_k$	MJ/h	Toplina koju je potrebno odvesti s kočnice
$Q_{komp}$	MJ/h	Toplina koju je potrebno odvesti s kompresora zraka
$Q_m$	MJ/h	Toplina utrošena na mehaničke gubitke u motoru
$Q_{odv}$	MJ/h	Odvedena toplina
$Q_{uk}$	MJ/h	Ukupna toplina koju je potrebno odvesti zrakom
$Q_{uk,n}$	MJ/h	Ukupna toplina koju je potrebno odvesti zrakom na novoj lokaciji ispitne kabine
$Q_{uk,n,15}$	MJ/h	Ukupna toplina koju je potrebno odvesti zrakom na novoj lokaciji ispitne kabine za MSUI 15 kW
$Q_{zr}$	MJ/h	Toplina odvedena zračenjem vrućih dijelova motora
$V_k$	m <sup>3</sup>	Volumen kabine
$V_{k'}$	m <sup>3</sup>	Volumen prostora ispod kabine
$V_{uk}$	m <sup>3</sup>	Ukupni volumen ispitne kabine
$V_{tp}$	m <sup>3</sup>	Volumen temeljne ploče
$\dot{V}_{dov}$	m <sup>3</sup> /h	Ukupna količina zraka kojeg treba dovesti u kabinu
$\dot{V}_{dov,n}$	m <sup>3</sup> /h	Ukupna količina zraka kojeg treba dovesti u kabinu na novoj lokaciji
$\dot{V}_{dov,n,15}$	m <sup>3</sup> /h	Ukupna količina zraka kojeg treba dovesti u kabinu na novoj lokaciji za snagu MSUI 15 kW
$\dot{V}_h$	m <sup>3</sup> /h	Volumna potrošnja zraka MSUI
$\dot{V}_{h,komp}$	m <sup>3</sup> /h	Volumna potrošnja zraka kompresora
$\dot{V}_{izg}$	m <sup>3</sup> /h	Volumni protok ispušnih plinova
$\dot{V}_{odv}$	m <sup>3</sup> /h	Ukupna količina zraka kojeg treba odvesti iz kabine
$\dot{V}_{odv,n}$	m <sup>3</sup> /h	Ukupna količina zraka kojeg treba odvesti iz kabine na novoj lokaciji
$\dot{V}_{odv,n,15}$	m <sup>3</sup> /h	Ukupna količina zraka kojeg treba odvesti iz kabine na novoj lokaciji za snagu MSUI 15 kW
$\dot{V}_z$	m <sup>3</sup> /h	Količina protočnog zraka potrebnog za odvođenje topline

$\dot{V}_{z,n}$	$\text{m}^3/\text{h}$	Količina protočnog zraka potrebnog za odvođenje topline ispitne kabine na novoj lokaciji
$W_e$	J	Efektivan rad na spojci MSUI
$W_{el.}$	J	Rad elektromotorne kočnice
$W_{komp}$	J	Rad kompresora za MSUI snage 30 kW
$W_{komp,e}$	J	Rad kompresora za MSUI snage 15 kW
$W_{x,zav}$	$\text{mm}^3$	Moment otpora zavara
$y_t$	mm	Udaljenost težišta zavara od referentne osi x'
$Z_0$	kg Z/kg G	Stehiometrijski omjer goriva i zraka
$Z_h$	kg/h	Satna potrošnja zraka

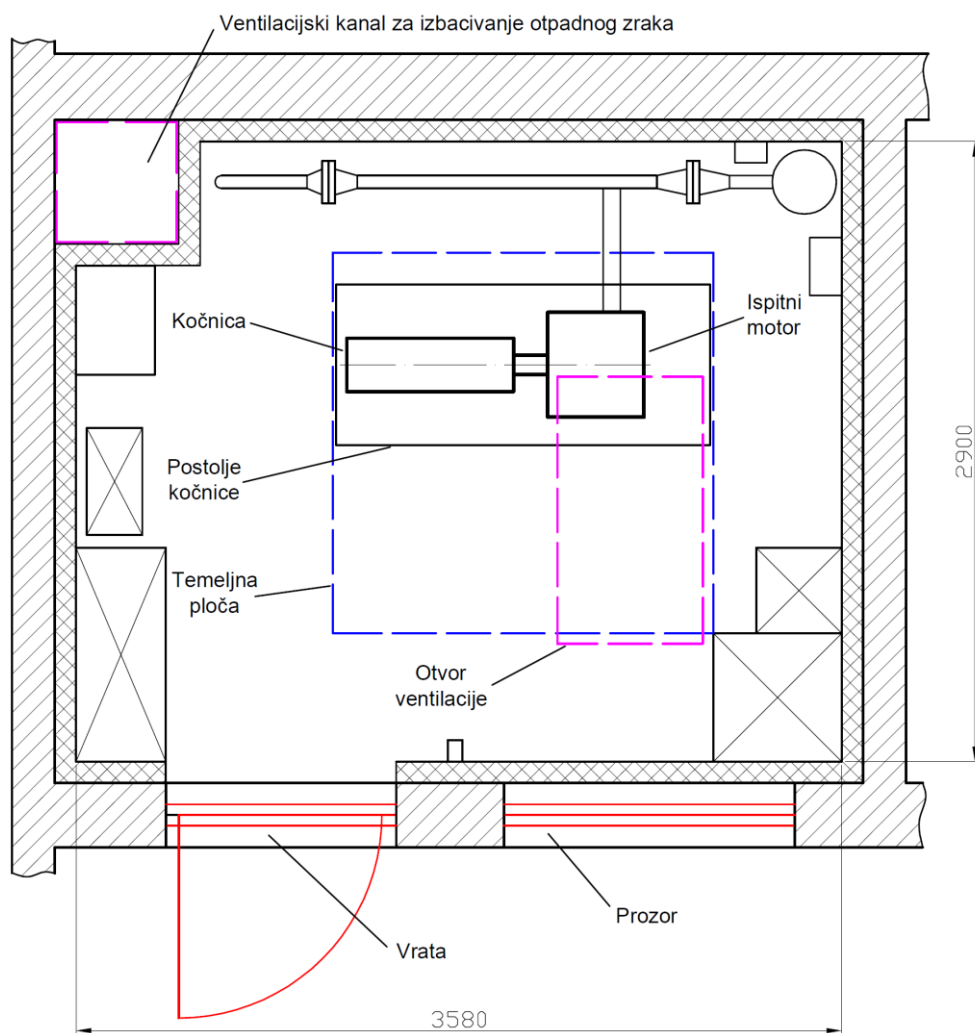
**Grčke oznake:**

Oznaka	Jedinica	Opis
$\vartheta_v$	°C	Temperatura dovedenog zraka
$\vartheta_u$	°C	Temperatura odvedenog zraka
$\lambda$	-	Faktor pretička zraka
$\eta_k$	-	Korisnost elektromotorne kočnice
$\eta_{komp}$	-	Korisnost kompresora
$\rho_z$	kg/m <sup>3</sup>	Gustoća zraka
$\sigma_{dop,z}$	N/mm <sup>2</sup>	Dopušteno naprezanje zavara
$\sigma_{dop,vij}$	N/mm <sup>2</sup>	Dopušteno naprezanje vijka
$\sigma_{f,zav}$	N/mm <sup>2</sup>	Savojno naprezanje zavara
$\sigma_{f,vij}$	N/mm <sup>2</sup>	Savojno naprezanje vijka
$\sigma_{red,z}$	N/mm <sup>2</sup>	Reducirano naprezanje zavara
$\sigma_{red,vij}$	N/mm <sup>2</sup>	Reducirano naprezanje zavara
$\tau_{zav}$	N/mm <sup>2</sup>	Smično naprezanje zavara
$\tau_{vij}$	N/mm <sup>2</sup>	Smično naprezanje vijka

# 1. Uvod

U Laboratoriju za motore i vozila Fakulteta strojarstva i brodogradnje nalaze se dvije ispitne kabine na ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem. Sjeverna (tzv. crvena) kabina koristi se za ispitivanje manjih motora s unutarnjim izgaranjem snage do 30 kW i južna kabina koja se koristi za ispitivanje motora do 400 kW u sklopu koje se nalazi hidraulična kočnica Schenck tip D 400.

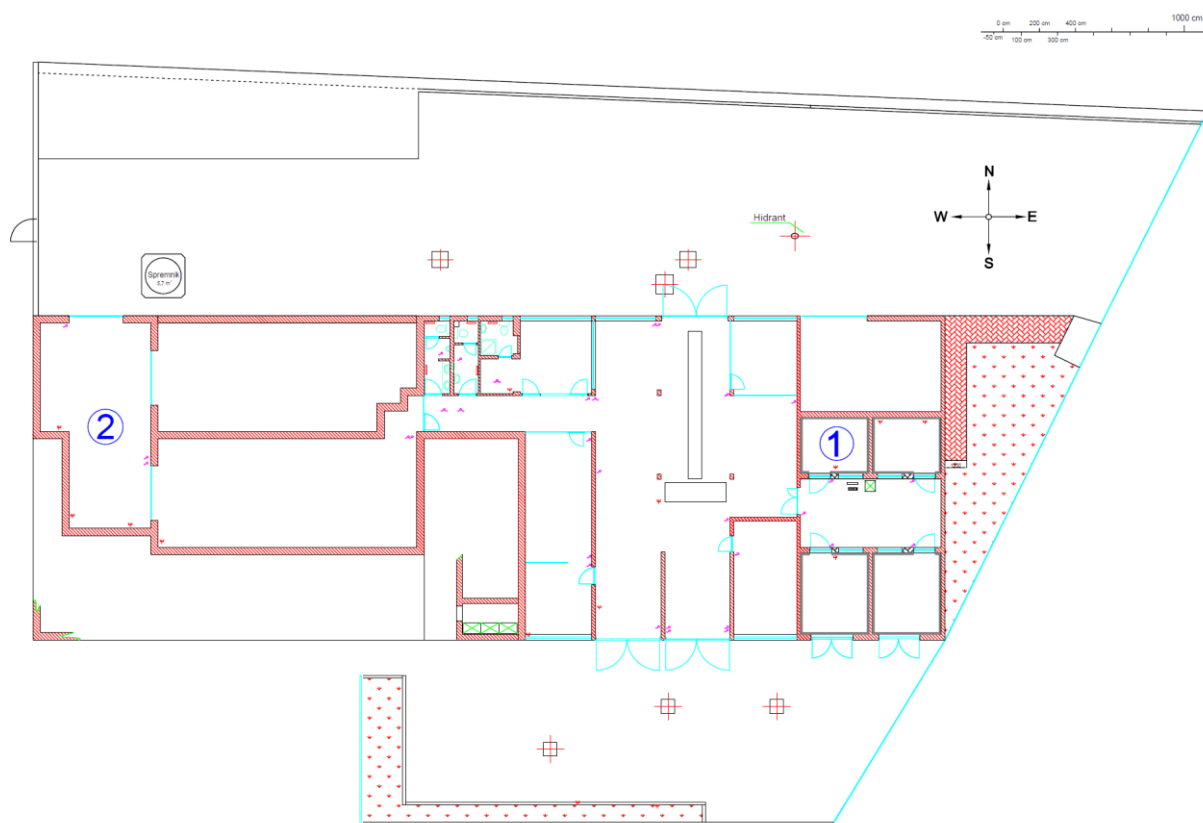
Sjeverna kabina opremljena je električnom kočnicom Siemens na koju je trenutno postavljen eksperimentalni motor na osnovi jednocilindarskog zrakom hlađenog Dieslov motor Hatz 1D81Z. U sklopu rada potrebno je dokumentirati postojeće stanje i predvidjeti preseljenje sjeverne kabine na novu, privremenu lokaciju. Nova lokacija bi bila prostorija u kojoj se trenutno nalazi stroj za ispitivanje sjedala (zapadni dio LMV). Kako je nova prostorija dovoljno velika, njenom pregradnjom potrebno je pripremiti prostor za kabinu, kontrolnu sobu i svu potrebnu opremu.



Slika 1.1 Tlocrt sjeverne ispitne kabine



Sa slike 1.2 može se vidjeti trenutna pozicija sjeverne (crvene) kabine u Laboratoriju za motore i vozila označene koja je označena brojem 1, te nova (privremena) prostorija u koju bi se kabina premjestila, označeno brojem 2.



*Slika 1.2 Tlocrt zgrade Laboratorije za motore i vozila s označenom trenutnom lokacijom (1) i novom lokacijom ispitne kabine za eksperimentalni motor (2)*

## 2. Postupak ispitivanja motora s unutarnjim izgaranjem

Kočenje motora, ili bilo kojeg pogonskog stroja (turbostrojevi, elektromotori,...), spada u tehniku mjerenja. Osnovna je zadaća mjerenja određivanje zakretnog momenta motora i brzine vrtnje. Iz izmjerenih veličina momenta i brzine vrtnje može se izračunati snaga motora. Kako je motor s unutarnjim izgaranjem vrlo kompleksan toplinski stroj, za definiranje njegovih karakteristika potrebno je izvršiti znatno više tehničkih mjerenja, stoga se osim reakcijske sile i brzine vrtnje motora mjere razni tlakovi, temperature i protoci. Na temelju ovih mjerenja preračunavaju se veličine koje pomažu u definiranju karakteristika motora. Motor se kočenjem dovodi u slično stanje opterećenja kao u eksploataciji.

Kočenje motora primjenjuje se u:

- razvoju i istraživanju,
- proizvodnji i završnoj kontroli,
- održavanju.

U razvojnim istraživanjima kočnice za ispitivanje motora se koriste za:

- određivanje karakteristika motora (moguća opteretivost, ekonomičnost, ekološke karakteristike),
- provođenje trajnog ispitivanja uz simuliranje predvidivih pogonskih uvjeta,
- ispitivanje različitih komponenti opreme: brizgaljka, visokotlačnih pumpi goriva, kompletnog sustava dobave goriva, uređaja za paljenje, regulatora brzine vrtnje, klipova, brtvila, ležajeva...,
- ispitivanje pogonskih sredstava (gorivo, mazivo),
- ispitivanje spojki za vozila, pogonskih osovina, mjenjača...,
- validaciju rezultata dobivenih računalnim simulacijama.

U proizvodnji motora kočnice se koriste uglavnom za:

- uhodavanje motora,
- regulaciju karakteristika,
- završnu kontrolu karakteristika.

Vrste kočnica koje se koriste za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem mogu biti motorne kočnice (engl. *Engine Dyno*) koje se spajaju direktno na koljenasto vratilo motora i kočnice koje mjere snagu s pogonskih kotača vozila (engl. *Wheel Dyno*).

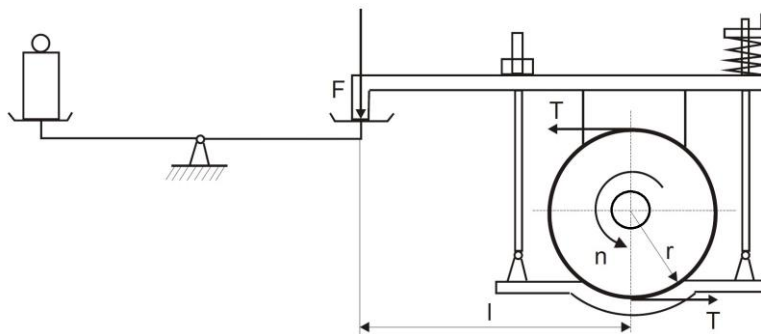
U nastavku ovog poglavlja biti će prikazane najčešće korištene motorne kočnice koje se spajaju direktno na koljenasto vratilo motora, a to su ujedno i najpreciznije kočnice.

## 2.1 Mehanička kočnica

Ovaj tip kočnica najčešće se koristi pri manjim brzinama vrtnje i za veće zakretne momente, ali zbog manje točnosti rijetko se upotrebljavaju.

### Pronijeva kočnica

Pronijeva kočnica (engl. *Prony brake*) spada u najstrije mehaničke kočnice. U njoj se mehanička energija motora koji se ispituje pretvara u toplinu. Zamašnjak i obloge se u radu jako zagrijevaju stoga je potrebno predvidjeti vođeno ili hlađenje zrakom. Opterećenje se može regulirati jačim ili slabijim pritezanjem obloga. Prednosti su jednostavnost, laka izrada, pregledan način rada i mali prostor koji zauzima. Dok su nedostaci potreba hlađenja, teško reguliranje, nemirna ravnoteža i opterećenje ležišta zbog svoje težine ako se ne predvidi posebno vanjsko ležište. Zamašnjak je kruto vezan za vratilo koje je uležišteno.



Slika 2.1 Shematski prikaz Pronijeve mehaničke kočnice [1]

Sila  $F$  preko poluge stvara pritisak na vratilo kočnice te se kao posljedica javlja sila trenja na vratilu (sila kočenja). Sila kočenja stvara moment kočenja  $M_k$ . Energija kočenja pretvara se u toplinu koja se po potrebi odvodi rashladnim sredstvom. Koristi se za male snage.

## 2.2 Hidrauličke kočnice

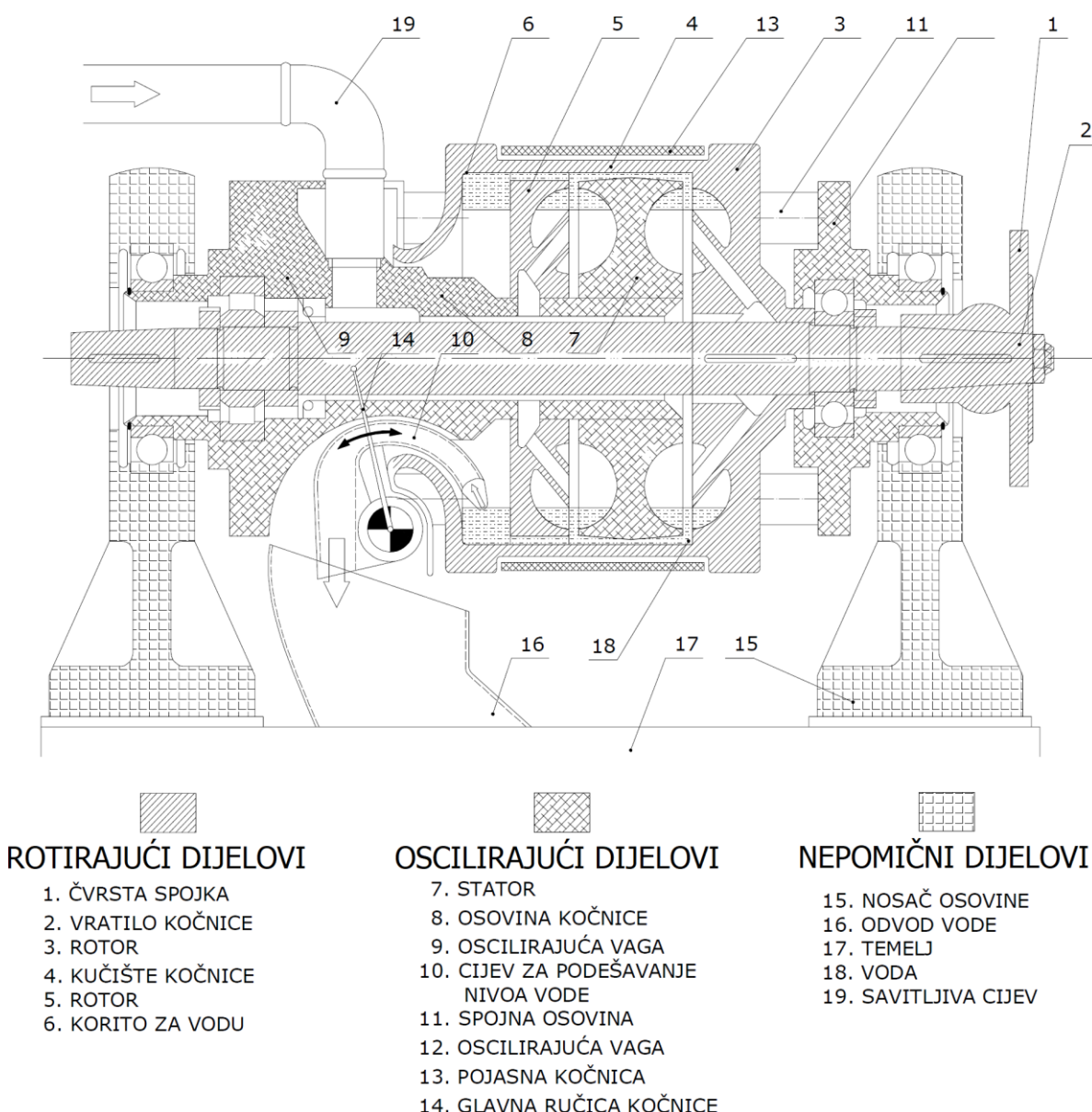
Hidrauličke kočnice konstruirane su slično kao i hidrauličke spojke. Njihova primjena je vrlo česta. Sastoje se od statora i rotora s lopaticama, a mogu imati i komoru za vrtloženje u kojoj dolazi do vrtloženja fluida pri čemu se snaga kočenja pretvara u toplinu. Cilj je pomoću tekućine prenijeti moment s rotora na stator te time razviti jednak i suprotan moment koji stvara otpor rotaciji vratila, a javlja se zbog reakcije vode na kućište.

Jedna polutka spojke je čvrsto povezana s vratilom kočnice koje je opet povezano pomoću spojnog vratila s koljenastim vratilom motora. Druga polutka spojke ne može se okretati, već samo oscilira u ležajima postolja kočnice i preko kraka oslanja se na vagu za mjerenje sile  $F$ .

Vežu između dvije polutke čini voda koja cirkulira kroz kočnicu. Posebnim uređajem regulira se debljina vodenog prstena koji spaja obje polutke spojke. Veća debljina vodenog prstena znači bolju vezu između dvije polutke i veće opterećenje motora. Moment kojim se koči motor naziva se efektivnim momentom  $M_e$  na mjestu ispitivanja.

Prednosti hidrauličkih kočnica je velika preciznost, mala veličina i niski troškovi izrade i održavanja. Koriste se za ispitivanje motora od najmanjih snaga pa sve do velikih sporohodnih brodskih motora.

Postoji nekoliko vrsta izvedbi hidrauličnih kočnica, a razlikuju se po načinu mijenjanja momenta kočenja te po izvedbi rotora i statora. Regulacija snage postiže se zakretanjem statorskih lopatica ili mijenjanjem protoka vode, čime se mijenja debljina vodenog prstena. Nedostaci ovakvih kočnica su ograničeno radno područje i otežana regulacija rada.



Slika 2.2 Presjek hidraulične kočnice za mjerenje snage motora [2]

## 2.3 Električne kočnice

Zajednička značajka ovih kočnica za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem je da apsorbiranu snagu pretvaraju u električnu energiju. Gubitak energije zbog prenošenja topline prenosi se rashladnim medijem, a to može biti voda ili strujanje zraka. Sve takve kočnice ponašaju se kao velika postrojenja koja proizvode buku i toplinu. Razne komponente električne kočnice uređaji su visokog napona i snage te koriste složenu upravljačku elektroniku. Zbog toga moraju biti smještene u odgovarajuće uvjete u prostoru s čistim zrakom i malom količinom vlage te dovoljnim prostorom zbog pristupa i hlađenja motora.

Električne kočnice se po principu rada mogu podijeliti na one koje rade kao generatori i one koje rade na principu vrtložnih struja.

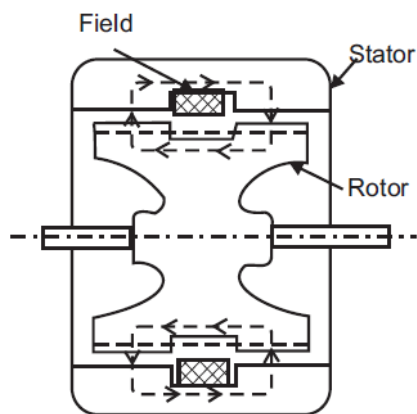
### Kočnice na vrtložne struje

Način kočenja kočnica na vrtložne struje (engl. *Eddy Current Dynamometer*) zasniva se na elektromagnetskoj indukciji te stvaranju vrtložnih struja u indukcijskom prstenu (Faradayev i Lorentzov zakon).

Kočnica se sastoji od statora i rotora. Stator se sastoji od namota žica u kojem se protjecanjem istosmjerne struje inducira magnetsko polje. Zakretanjem rotora kroz takvo magnetsko polje nastaju vrtložne struje koje u statoru induciraju suprotno orijentirano magnetsko polje. Zbog pojave vrtložnih struja, između rotora i statora nastaje elektromagnetska sila, koja stvara moment kočenja. Naravno, ako se rotor ne zakreće, taj moment kočenja jednak je nuli bez obzira na veličinu uzbudne struje statora. Veličina momenta kočenja  $M_k$  kočnice regulira se promjenom uzbudne struje statorskog namotaja. Za takav način regulacije koriste se pouzdani i stabilni regulacijski sustavi. Nastala toplinska energija odvodi se kroz stijenke kućišta. Ovisno o izvedbi, hlađenje može biti pomoću rashladne tekućine ili zraka. Toplinska energija prenosi se odvođenjem topline pomoću vode ili rashladnog zraka. Kućište može biti uležišteno, kao što je opisano kod generatorske kočnice. Pomoću nazubljene kružne ploče, koja je pričvršćena na vratilu kočnice, mjeri se brzina vrtnje. A iz brzine vrtnje i ostvarenog momenta izračunava se preuzeta snaga. [3]

Neke od prednosti kočnica na vrtložne struje su:

- visoka snaga kočenja po jediničnoj težini kočnice,
- razina uzbude polja je ispod 1 % ukupne snage motora koji se koči, stoga je s kočnicom lako upravljati,
- razvijanje vrtložne struje je „glatko“ stoga je i zakretni moment također miran i kontinuiran u svim uvjetima,
- relativno velik zakretni moment pri malim brzinama,
- nema kompliciranih rotirajućih dijelova osim ležaja osovine,
- nema ograničenja veličine kočnice.



Slika 2.3 Shematski prikaz kočnice na vrtložne struje [5]

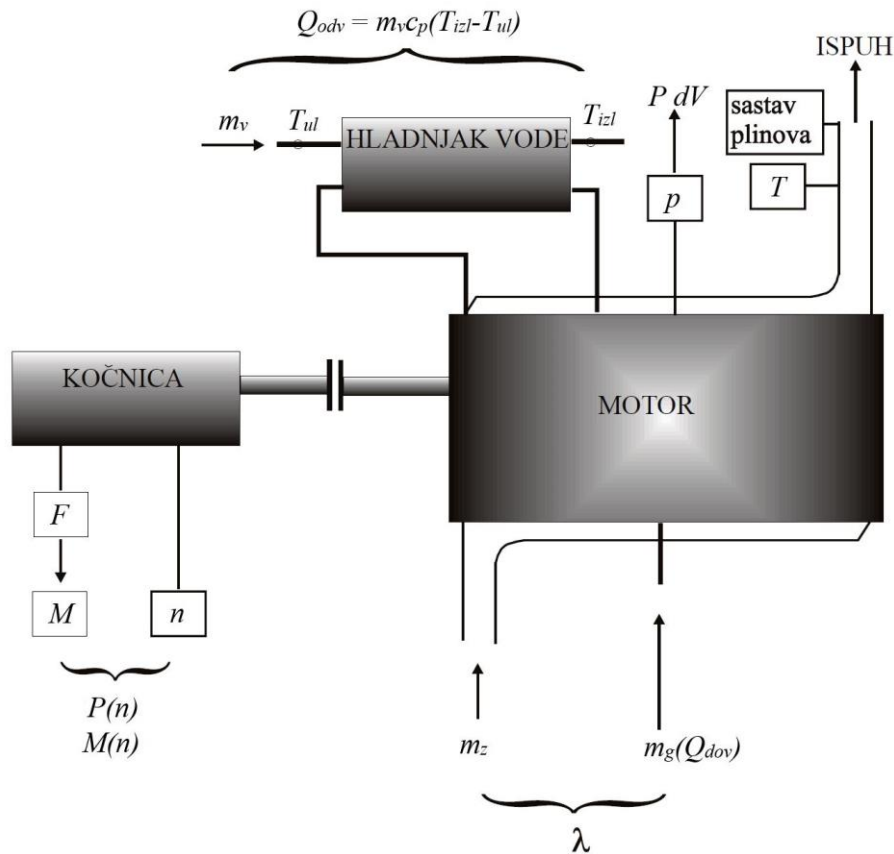
### Generatorske kočnice

S obzirom na elektromotor tj. generator, kočnice mogu raditi na istosmjernu ili izmjeničnu struju. Regulacija se vrši s pomoću jedinice za upravljanje ovisno vrsti motora/generatora. Ove kočnice mogu raditi u generatorskom režimu rada te vraćati struju u mrežu, a isto tako mogu raditi i u motornom režim rada tako da mogu pogoniti motor s unutarnjim izgaranjem te se mogu koristiti za mjerenje gubitaka trenja motora, kontroliranje tlaka kompresije u cilindrima i sl. Ove kočnice omogućuju statička i dinamička ispitivanja te su velike preciznosti. U pravilu ova vrsta kočnica je skuplja i kompleksnija od ostalih.

## 2.4 Kočenje motora i mjerenje

Danas se svi izmjereni parametri obrađuju pomoću računala te se kod ispitivanja koriste uređaji za prikupljanje podataka. Kako davači najčešće daju analogni signal, a računala rade isključivo s informacijama u digitalnom obliku, primjenjuje se analogni digitalni (AD) konverter. Analogni signali su kontinuirani pa mogu imati bilo koju od beskonačno mnogih vrijednosti. Digitalni signali su diskretni. AD konverter služi za pretvorbu analognih signala u digitalne. Ova oprema mora imati visoku rezoluciju kako bi mogla mjeriti male promjene napona, te veliku brzinu obrade signala kako bi mogla pratiti vrlo brze promjene.

Na slici 2.4 prikazana je shema spajanja kočnice, motora i mjernih uređaja zajedno sa sustavom hlađenja vodom tj. rashladnom tekućinom. Uz prikazanu shemu moguća je i izvedba hlađenja zrakom.



Slika 2.4 Shema spajanja kočnice, motora i mjernih uređaja [1]

Suvremeni ispitni postav za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem sadrži više senzora (ili pretvornika) sustava za prikupljanje podataka i aktuatora za kontrolu stanja motora. Senzori daju signale te se najčešće mjeri nekoliko fizikalnih veličina, a to obično uključuje:

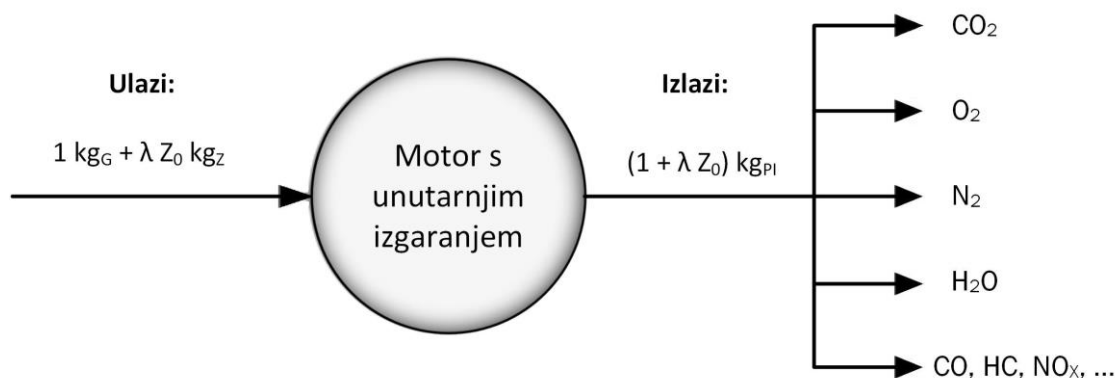
- efektivni zakretni moment koljenastog vratila i njegovu kutnu brzinu,
- potrošnju zraka i goriva (često detektirani pomoću volumetrijskih i/ili gravimetrijskih metoda mjerenja),
- faktor zraka (često detektiran pomoću osjetnika kisika ispušnih plinova),
- koncentraciju štetnih tvari u ispuhu kao što su ugljični monoksid, ugljikovodici, dušikovi oksidi, suporni oksidi i čestice,
- temperaturu ulja motora, ispušnih plinova, te tlak u usisnoj cijevi,
- atmosferske uvijete kao što su temperatura, tlak i vlažnost zraka.

### 3. Kontrolni proračun sustava ventilacije ispitne kabine

Za potrebe proračuna ventilacije u ovom poglavlju izračunat će se količina zraka koji je potrebno dobiti u ispitnu kabinu. S obzirom da je najveća dopuštena snaga kočnice 30 kW, ta će se vrijednost uzeti kao efektivna snaga motora  $P_e$ .

Pretvorba energije u motoru može se prikazati bilancom masa (slika 3.1) i bilancom energija (slika 3.2). Za postizanje zahtijevanih uvjeta u ispitnim kabinama važno je poznavati obje bilance jer se u mali prostor ispitne kabine mora dovesti zrak za izgaranje, odvesti produkti izgaranja te odvesti otpadnu toplinu koja se razvija na stjenkama motora i ispušnog sustava. Kod ispitivanja motora koristan rad motora se u opterećenom stroju (kočnici) pretvara u toplinu koju je također potrebno odvesti.

Bilancu masa može se prikazati shemom na slici 3.1 gdje u motor ulaze gorivo i zrak, dok iz njega izlaze produkti izgaranja.



Slika 3.1 Bilanca masa motora s unutarnjim izgaranjem

#### 3.1 Potrebna količina zraka za izgaranje

Potrebna satna količina zraka za izgaranje izračunava se prema:

$$Z_h = Z_0 \cdot \lambda \cdot m_{G,h}, \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (1.1)$$

gdje je:

$$Z_0 = 14,7 \frac{\text{kg Z}}{\text{kg G}} \quad \text{- stehiometrijski omjer goriva i zraka}$$

$\lambda$  - faktor pretička zraka, -

Satna potrošnja goriva izračunava se prema:

$$m_{G,h} = g_e \cdot P_e, \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (1.2)$$



gdje je:

$g_e$  - specifična potrošnja goriva, kg/kWh

Specifična potrošnja goriva  $g_e$  suvremenih motora s unutarnjim izgaranjem iznosi od 0,2 do 0,4 kg/kWh, te se za ovaj proračun pretpostavlja da je iznos 0,3. Uzme li se u obzir najveća efektivna dopuštena snaga kočnice od 30 kW, satna potrošnja goriva iznosi:

$$m_{G,h} = 0,3 \cdot 30 = 9 \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Faktor pretička zraka  $\lambda$  za Ottove motore iznosi  $\lambda=1$ , a za Diesel motore pri punoj snazi može se pretpostaviti  $\lambda=1,2$ . Prema tome se izračunava satna potrošnja zraka:

$$Z_h = 14,7 \cdot 1,2 \cdot 9 = 158,76 \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Satnu potrošnju zraka potrebno je pretvoriti u volumen zraka potreban za izgaranje prema:

$$\dot{V}_h = \frac{Z_h}{\rho_z}, \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.3)$$

gdje je:

$\rho_z$  - gustoća zraka, kg/m<sup>3</sup>

Iako gustoća zraka ovisi o temperaturi, atmosferskom tlaku, sadržaju vlage i nadmorskoj visini radi pojednostavljenja proračuna računat će se sa vrijednosti pri standardnim atmosferskim uvjetima, odnosno tlaku od 101,325 kPa i temperature 20 °C kada gustoća zraka iznosi  $\rho_z \approx 1,2$  kg/m<sup>3</sup>. Volumna potrošnja zraka iznosi:

$$\dot{V}_h = \frac{158,76}{1,2} = 132,2 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

## 3.2 Produkti izgaranja

Količina produkata izgaranja prema masenoj bilanci mora biti jednaka ukupnoj količini goriva i zraka koji su ušli u proces:

$$m_{pi} = m_{G,h} + Z_h, \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}} \quad (1.4)$$

$$m_{pi} = 9 + 158,76 = 167,76 \quad \frac{\text{kg}}{\text{h}}$$

Uz pretpostavku da se produkti izgaranja intenzivno miješaju i hlade u struji zraka za hlađenje koji izlazi iz prostorije, te da imaju istu temperaturu (max 40 °C) kao odsisani zrak kad dođu do odsisnog ventilatora, može se pisati [6]:

$$\dot{V}_{izg} = \frac{m_{pi}}{\rho_z}, \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.5)$$

$$\dot{V}_{izg} = \frac{167,76}{1,2} = 139,8 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

### 3.3 Odvođenje topline ispitne kabine

Za potrebe proračuna ventilacije ispitne kabine, a u to je uključena količina zraka potrebnog za izgaranje i odvođenje topline, potrebno je pretpostaviti bilancu toplinske energije u motoru.

Razdioba toplinske energije prikazana je sljedećim izrazom:

$$Q_l = Q_e + Q_{hl} + Q_{isp} + Q_{zr} + Q_m \quad (1.6)$$

gdje je:

$Q_l$  - toplotina dovedena gorivom, J

$Q_e$  - toplotina pretvorena u efektivni rad, J

$Q_{hl}$  - toplotina odvedena hlađenjem motora, J

$Q_{isp}$  - toplotina odvedena ispušnim plinovima, J

$Q_{zr}$  - toplotina odvedena zračenjem vrućih dijelova motora, J

$Q_m$  - toplotina utrošena na mehaničke gubitke u motoru, J

Na slici 3.2 shematski je prikazana razdioba energije motora kod punog opterećenja.  $W_i$  označava indicirani rad u cilindru motora, dok  $W_e$  efektivni rad na spojci.

Za proračun uzeti će se sljedeće prosječne vrijednosti s obzirom na bilancu energije:

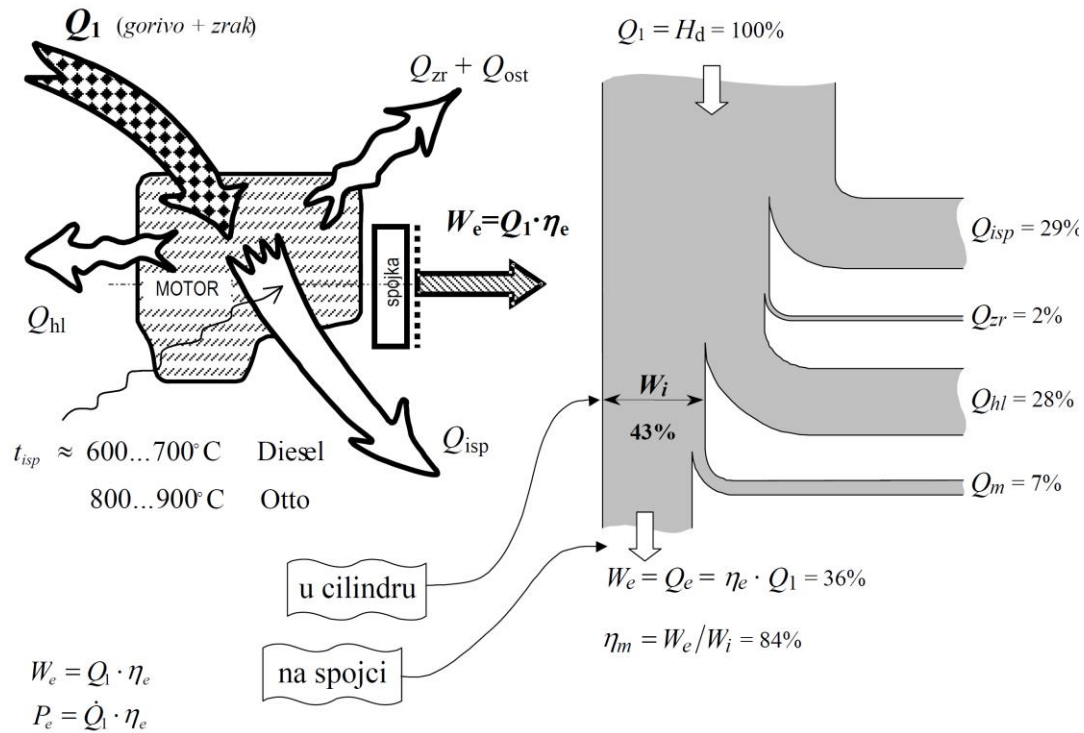
$$Q_{isp} \approx 29 \%$$

$$Q_{hl} \approx 28 \%$$

$$Q_{zr} \approx 2 \%$$

$$Q_m \approx 5 \%$$

$$Q_e \approx 36 \%$$



Slika 3.2 Bilanca energije motora s unutarnjim izgaranjem prikazana Sankeyevim dijagramom [7]

Toplina dovedena gorivom dobiva se na sljedeći način:

$$Q_1 = m_{G,h} \cdot H_d = 9 \cdot 42 = 378 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.7)$$

Toplinu koju je potrebno odvesti s motora iznosi:

$$Q_{hl} = Q_1 \cdot \eta_{hl} = 378 \cdot 0,28 = 105,84 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.8)$$

Toplina zračenja motora iznosi:

$$Q_{zr} = Q_1 \cdot \eta_{zr} = 378 \cdot 0,02 = 7,56 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.9)$$

Toplina ispušnih plinova koju je potrebno odvesti iznosi:

$$Q_{isp} = Q_1 \cdot \eta_{isp} = 378 \cdot 0,29 = 109,62 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.10)$$

Toplina utrošena na mehaničke gubitke u motoru iznosi:

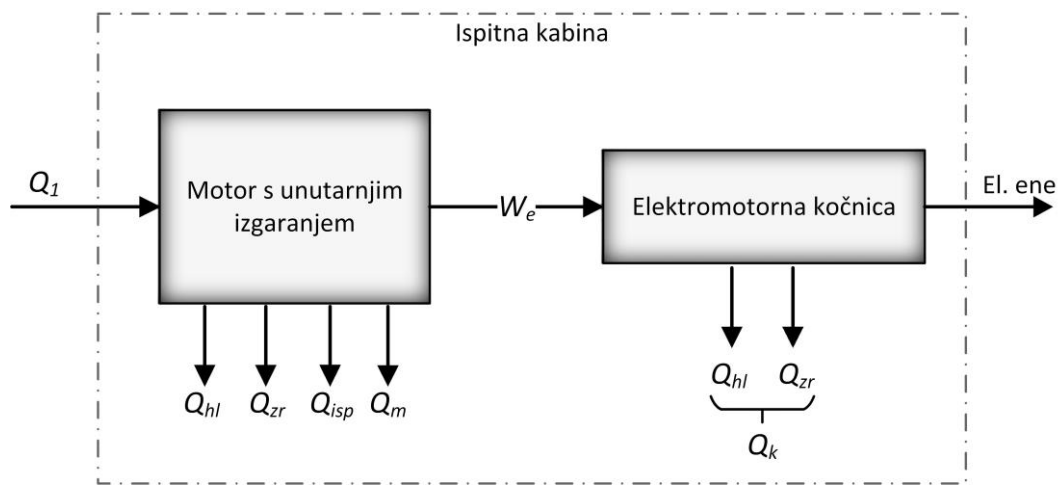
$$Q_m = Q_1 \cdot \eta_m = 378 \cdot 0,05 = 18,9 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.11)$$

Također, uz motor potrebno je uračunati i toplinu koju stvara kočnica. Toplina koju je potrebno odvesti s kočnice može se izračunati tako da se uzme efektivan rad na spojci  $W_e$  i pomnoži s pretpostavljenim stupnjem korisnosti elektromotorne kočnice  $\eta_k$ . Time se dobiva rad elektromotorne kočnice  $W_{el.}$ .

$$W_{el.} = W_e \cdot \eta_k = 136,08 \cdot 0,8 = 108,86 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.12)$$

Razlika efektivnog rada ispitnog motora i rada elektromotorne kočnice koju daje u mrežu u obliku električne energije toplina je izgubljena na zagrijavanje kočnice  $Q_k$  (shema prikazana slikom 3.3)

$$Q_k = W_e - W_{el.} = 136,08 - 108,86 = 27,22 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.13)$$



Slika 3.3 Bilanca energije ispitnog postava

Ukupna toplina koju je potrebno odvesti iznosi:

$$\begin{aligned} Q_{uk} &= Q_{hl} + Q_{zr} + Q_{isp} + Q_m + Q_k = \\ &= 105,84 + 7,56 + 109,62 + 18,9 + 27,22 = 269,14 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \end{aligned} \quad (1.14)$$

Ukupnu toplinu  $Q_{uk}$  potrebno je odvesti zrakom. Toplina odvedena zrakom računa se preko prvog glavnog stavka termodinamike:

$$Q_{uk} = Q_{odv} = \dot{V}_z \cdot c_z \cdot \rho_z (\vartheta_v - \vartheta_u), \quad \text{W} \quad (1.15)$$

gdje su:

$\dot{V}_z$  - protoči volumen,  $\text{m}^3/\text{h}$

$c_z$  - specifični toplinski kapacitet zraka,  $c_z = 1,013 \text{ kJ/kg/K}$

$\rho_z$  - gustoća zraka,  $\rho_z = 1,2 \text{ kg/m}^3$

$\vartheta_v$  - temperatura dovedenog zraka, °C

$\vartheta_u$  - temperatura odvedenog zraka, °C

Količina protočnog zraka potrebnog za odvođenje topline iznosi:

$$\dot{V}_z = \frac{Q_{odv}}{c_z \cdot \rho_z (\vartheta_u - \vartheta_v)}, \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.16)$$

Unutrašnja temperatura u ispitnoj kabini ograničena je na najviše 40 °C što znači da je temperatura odvedenog zraka  $\vartheta_u = 40$  °C [2]. Ljetna projektna temperatura za Zagreb iznosi 32 °C [8], prema tome temperatura dovedenog zraka iznosi  $\vartheta_v = 32$  °C.

$$\dot{V}_z = \frac{269,14 \cdot 10^6}{1,013 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot (40 - 32)} = 27467 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Ukupna količina zraka koju je potrebno dovesti u kabinu:

$$\dot{V}_{dov} = \dot{V}_z = 27467 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.17)$$

Za izračun ukupne količine zraka koju je potrebno dovesti u kabinu u obzir se ne uzima količina zraka potrebna za izgaranje ispitnog motora jer taj zrak dolazi cijevima od kompresora koji se ne nalazi u ispitnoj kabini.

Ukupna količina zraka koju je potrebno odvesti iz kabine dobiva se zbrajanjem količine zraka za odvođenje topline i količine zraka produkata izgaranja:

$$\dot{V}_{odv} = \dot{V}_z + \dot{V}_{izg}, \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.18)$$

$$\dot{V}_{odv} = 27467 + 139,8 = 27606,8 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Kako su dobivene vrijednosti poprilično velikog iznosa, dogovoreno je da se ispitivanja pri najvećoj snazi ispitnog motora neće vršiti na temperaturi većoj od 25 °C. Tada proračun glasi:

$$\dot{V}_z = \frac{269,14 \cdot 10^6}{1,013 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot (40 - 25)} = 14760 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{V}_{dov} = \dot{V}_z = 14760 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

$$\dot{V}_{odv} = \dot{V}_z + \dot{V}_{izg} = 14760 + 139,8 = 14899,8 \quad \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Iz ovih dobivenih vrijednosti vidi se da količina potrebnog zraka za hlađenje uvelike ovisi o vanjskoj temperaturi odnosno temperaturi usisanog zraka.

Također, potrebno je uočiti da količina odvedenog zraka veća nego količina dovedenog, a razlog tome je što je u ispitnoj kabini potrebno osigurati podtlak kako ne bi došlo do istjecanja ispušnih plinova van kabine.

Kako je najveća snaga trenutno postavljenog eksperimentalnog motora približno 15 kW, logično je zaključiti da su tada izračunate vrijednosti dvostruko manje.

### 3.4 Postojeći sustav ventilacije

Za postojeći sustav ventilacije ispitne kabine potrebno je provjeriti zadovoljava li on kapacitetom tj. volumnim protokom.

Korisna površina ispitne kabine  $A$  dobiva se oduzimanjem ukupne površine kabine  $A$  od površine ventilacije za izbacivanje zraka  $A_{vent}$ :

$$A_k = A - A_{vent} = 10,382 - 0,336 = 10,046 \text{ m}^2 \quad (1.19)$$

Visina ispitne kabine iznosi  $h_k = 2,680$  m, prema tome volumen kabine je:

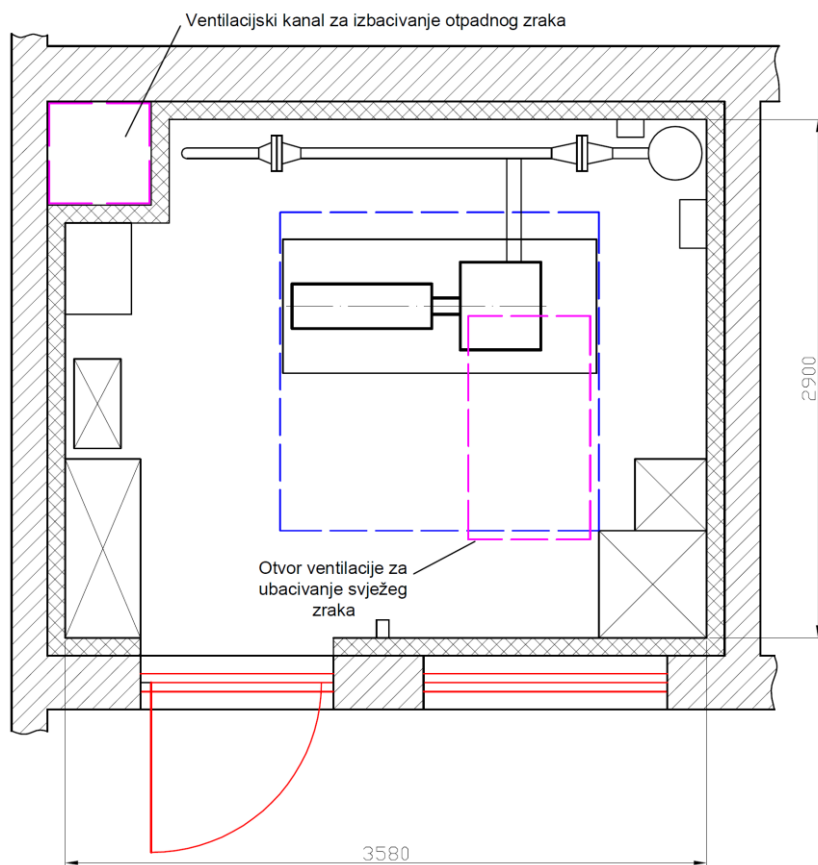
$$V_k = A_k \cdot h_k = 10,046 \cdot 2,680 = 26,92 \text{ m}^3 \quad (1.20)$$

Uz volumen same kabine potrebno je izračunati i volumen ispod kabine. Zrak iz kabine perforiranim pločama poda prolazi do prostora ispod kabine te iz njega ulazi u prostor ventilacije za izbacivanje zraka zajedno sa cijevima ispušnih plinova. Visina prostora ispod kabine iznosi 1,08 m, te je od njega potrebno oduzeti volume temeljne ploče koj iznosi  $V_{tp} = 1,76 \times 1,78 \times 1,08 = 3,38 \text{ m}^3$ . Volumen prostora ispod kabine iznosi:

$$V_{k'} = A \cdot v_{k'} - V_{tp} = 10,382 \cdot 1,08 - 3,38 = 7,83 \text{ m}^3 \quad (1.21)$$

Zbrajanjem volumena kabine  $V_k$  i volumena ispod nje  $V_{k'}$  dobivamo ukupni volumen zraka koji je potrebno izbaciti iz kabine:

$$V_{uk} = V_k + V_{k'} = 26,92 + 7,83 = 34,75 \text{ m}^3 \quad (1.22)$$



Slika 3.4 Dimenzije ispitne kabine

Izračunavanjem volumena kabine te usporedbom s ukupnom količinom zraka koju je potrebno dovesti dobiva se broj izmjena volumena zraka u ispitnoj kabini:

$$n_k = \frac{\dot{V}_{dov}}{V_{uk}} = \frac{12274,4}{34,75} = 353,22 \text{ h}^{-1} \quad (1.23)$$

Broj izmjena zraka  $n_k$  iznosi 353,22 u jednom satu što je približno jedna izmjena svakih 10 sekundi.

Na slici 3.5 prikazan je sustav ventilacije ispitne kabine koji se nalazi u potkrovlju laboratorija. Koristi se kanalni sustav ventilacije s jednim ventilatorom za dovod zraka za sjevernu i južnu kabinu. Raspodjela protoka zraka vrši se mehaničkim pokretanim usmjerivačima zraka te se po potrebi zrak dovodi u pojedinu kabinu.



Slika 3.5 Postojeći ventilator za dovodenje zraka

Tablica 3.1 Tehničke specifikacije ventilatora za dovodenje zraka [9]

Proizvođač	Systemair AB
Model	MUB 062 630D4-A2 IE2
Snaga [W]	4411
Vrsta izmjenične struje	trofazna
Napon [V]	400
Frekvencija [Hz]	50
Jakost struje [A]	7,67
Jakost struje pri pokretanju [A]	60,9
Maksimalan protok zraka [m <sup>3</sup> /h]	15070
Brzina vrtnje [min <sup>-1</sup> ]	1461
Masa [kg]	104
Maksimalna temperatura dovodenog zraka [°C]	40
Dimenzije DxŠxV [mm]	800x800x800
Promjer lopatica [mm]	678





*Slika 3.6 Postojeći ventilator za odvođenje zraka*

Odvod zraka, kao i dovod, vrši se kanalnim sustavom te se regulira na isti način mehaničkim usmjerivačima zraka. Ventilator za odvod zraka iz kabina marke Systemair prikazan je na slici 3.6.

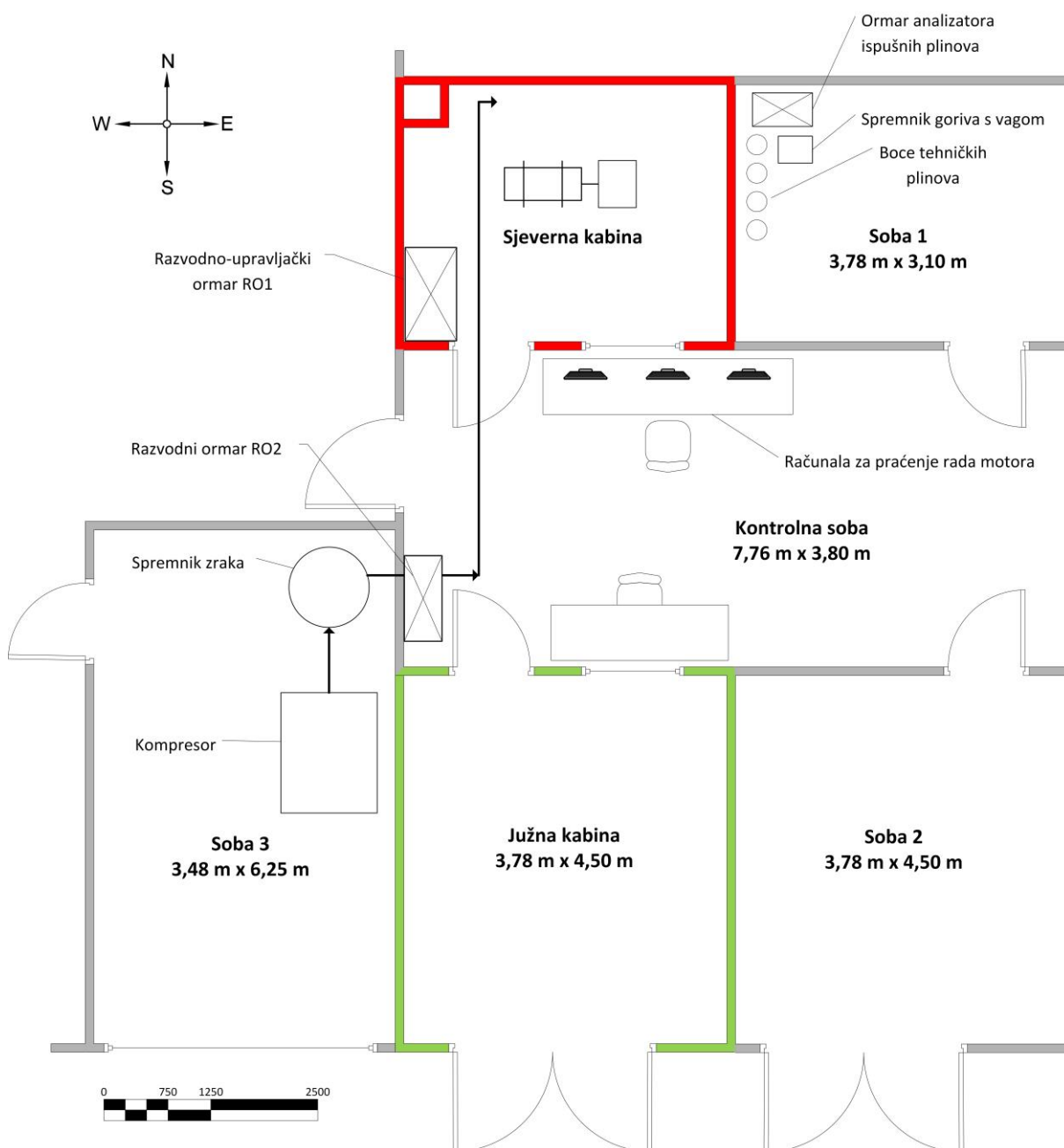
*Tablica 3.2 Tehničke specifikacije ventilatora za odvođenje zraka [10]*

Proizvođač	Systemair AB
Model	MUB/T 062 630D4 IE2
Snaga [W]	4498
Vrsta izmjenične struje	trofazna
Napon [V]	400
Frekvencija [Hz]	50
Jakost struje [A]	8,12
Jakost struje pri pokretanju [A]	60,9
Maksimalan protok zraka [m <sup>3</sup> /h]	14843
Brzina vrtnje [min <sup>-1</sup> ]	1450
Masa [kg]	102
Maksimalna temperatura dovođenog zraka [°C]	120
Dimenzije DxŠxV [mm]	800x800x800
Promjer lopatica [mm]	635

## 4. Dokumentacija postojećeg stanja ispitne kabine

Obzirom na kompleksnost ispitnog postava i brojnost raznih uređaja od iznimne je važnosti imati dokumentirano postojeće stanje ispitne kabine. Kako se u LMV nalaze dvije ispitne kabine ovaj rad je ograničen samo na sjevernu. Popisati će se najvažnija oprema za rad s pregledom funkcije svake od stavki. Analizirat će se građevinske mjere te pozicija pojedinih stavki opreme, kako one unutar kabine, tako i one izvan nje.

### 4.1 Pozicija ispitnog postava



Slika 4.1 Tlocrt dijela Laboratorija za motore i vozila za ispitivanje motora

Na slici 4.1 može se vidjeti dio tlocrta Laboratorija za motore i vozila. Prikazan je dio za ispitivanje motora. Kako su same kabine za ispitivanje motora relativno skućene, a i zbog konstrukcijskih, sigurnosnih i praktičnih razloga svu opremu za ispravan rad kabine nije moguće posložiti u jednu prostoriju, u sklopu sjeverne kabine neka od potrebne opreme nalazi se i u drugim prostorijama. Tako uz ventilaciju spomenutu u prethodnom poglavlju koja se nalazi u potkrovlju laboratorija, na slici 4.1 može se vidjeti kako je neka od opreme posložena u sobu 1, na tlocrtu desno od kabine, dok je druga u sobi 3, na tlocrtu lijevo od jućne kabine.

U sobi 1 nalaze se četiri boce s tehničkim plinovima; boca s dućikom ( $N_2$ ), boca s vodikom i helijem ( $H_2$  He), boca s dućikom i kisikom ( $N_2$   $O_2$ ), boca s metanom ( $CH_4$ ) i boca bioplina ( $CH_4$   $CO_2$ ). Boce se iz sigurnosnih razloga ne smiju nalaziti u kabini niti u kontrolnoj sobi. Ormar za analizu ispućnih plinova uz pripadajući spremnik za kalibraciju analizatora, spremnik goriva te vaga za gorivo takoder se nalaze u sobi 1. Spremnik za kalibraciju analizatora u sebi sadrži kalibracijske plinove propan  $C_3H_8$ , ugljikov monoksid CO, ugljikov dioksid  $CO_2$  i dućik  $N_2$ .

U tablici 4.1 prikazan je popis radnih i kalibracijskih plinova. Masa sastava koji se nalazi u odrećenoj boci izraćunata je pomoću jednadžbe stanja plina:

$$pV = mRT \quad (1.24)$$

tj.

$$m = \frac{pV}{RT}$$

gdje su:

$m$  – masa plina, kg

$p$  – tlak u boci, Pa

$V$  – volumen boce,  $m^3$

$R$  – plinska konstanta, J/kgK

$T$  – temperatura plina (okoline), K

Množenjem tlaka u boci s volumenom boce te dijeljenjem s plinskom konstantom odrećenog plina i pretpostavljenom sobnom temperaturom u iznosu od 20 °C tj. 293,15 K izraćunava se masa pojedinog stlaćenog plina. U slućaju boce vodika i helija ( $H_2$  He) uzet je volumni omjer plinova u odnosu 1:1, dok je omjer bioplina metan 80 %, ugljikov dioksid 20 %.

Tablica 4.1 Popis radnih i kalibracijskih plinova

R. Br.	Sastav	Namjena	Količina	Volumen, l	Tlak, bar	Plinska konstanta, J/kgK	Masa, kg
1.	N <sub>2</sub>	Za tlačenje tekućeg pogonskog goriva; za ispiranje analizatora	1 č.b.*	50	200	296,8	11,49
2.	H <sub>2</sub> He	Sintetski plin za pogon FID analizatora	1 č.b.	50	150	4124 (H <sub>2</sub> ) 2077 (He)	0,93
3.	N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Sintetski zrak za pogon FID analizatora	1 č.b.	50	200	296,8 (N <sub>2</sub> ) 259,8 (O <sub>2</sub> )	11,89
4.	CH <sub>4</sub>	Kao pogonsko gorivo (metan)	1 č.b.	50	220	518	7,24
5.	CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub>	Kao pogonsko gorivo (bioplin)	1 č.b.	50	200	518 (CH <sub>4</sub> ) 189 (CO <sub>2</sub> )	4,88
6.	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> CO CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub>	Kalibracijski plinovi analizatora	1 Al.b*	1	150	-	-

\*č.b. – čelična boca

\*Al.b. – aluminijska boca

Kako je vaga za gorivo vrlo osjetljiva, bitno je da njena pozicija bude u prostoriji bez strujanja zraka koje bi omelo mjerenje količine utrošenog goriva, dok analizator u slučaju kvara tj. propuštanja ne smije biti pozicioniran u prostoru gdje borave ljudi. Stoga vaga i analizator moraju biti u zasebnoj prostoriji, odvojeni od kontrolne sobe

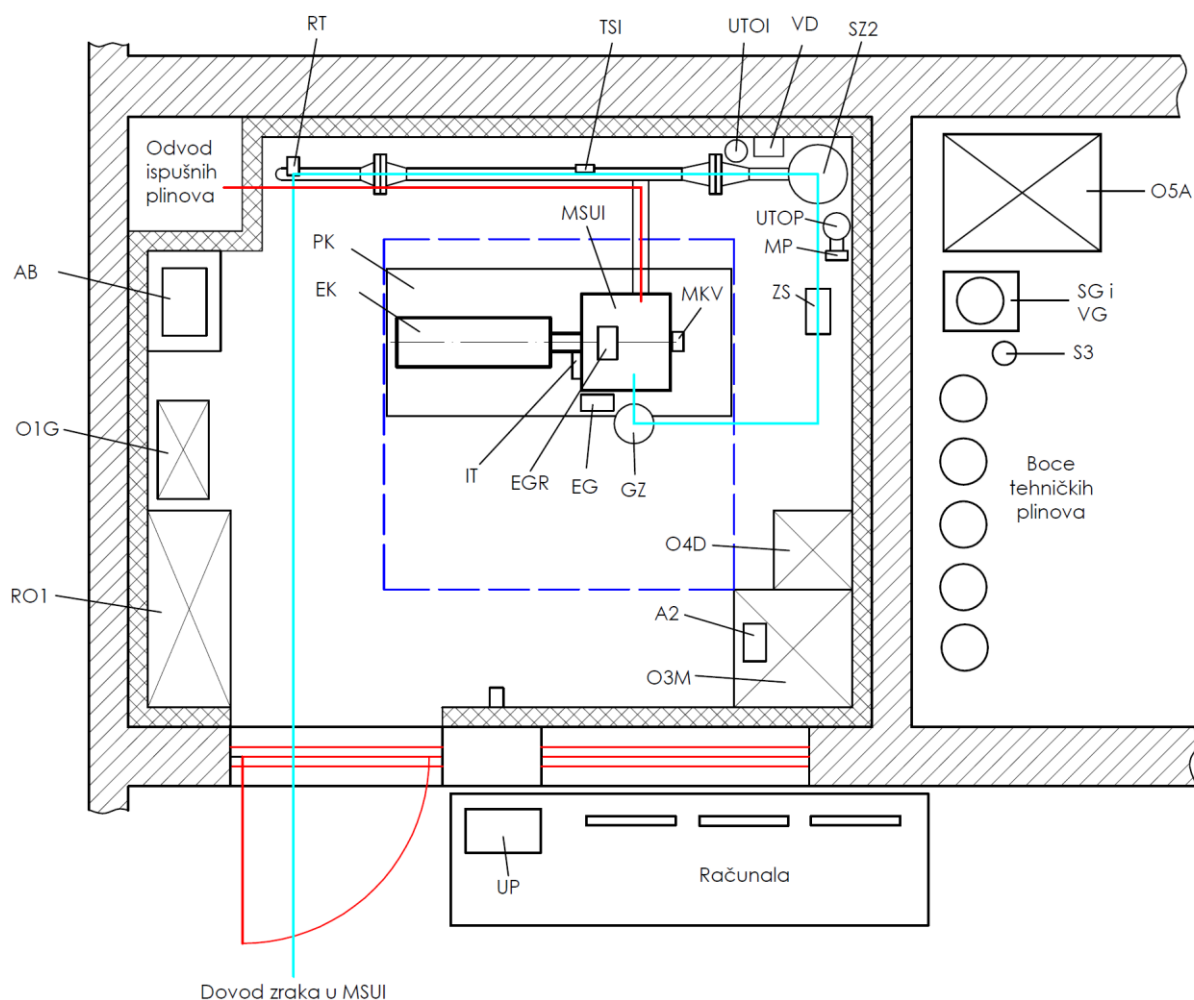
U sobi 3 nalazi se kompresor i spremnik zraka. Kompresor puni zrak u spremnik, pri tomu prolazi kroz odvlaživač zraka. Dalje iz spremnika komprimiranog zrak se cijevima koje se nalaze ispod poda laboratorija vode do ispitnih kabina. Na slici 4.1 prikazan je tok cijevi za zrak do sjeverne ispitne kabine.

U kontrolnoj sobi nadzire se ispitivanje motora. Ispitivač preko računala upravlja i nadzire rad ispitnog motora. U prostoru kontrolno-upravljačke sobe predviđen je boravak više osoba koje provode ispitivanje motora, ali i veće grupe studenata u okviru nastave. U prostoriji je zimi potrebno održavati temperaturu od 20 °C, a ljeti od 26 °C. Temperatura se zimi održava pomoću dva radijatora spojena na postojeći razvod radijatorskog grijanja u laboratoriju. Ljeti se temperatura odražava pomoću split sustava klimatizacije talijanske tvrtke *Aermec* maksimalnog učinka hlađenja 2,45 kW. Vanjska se jedinica nalazi u potkrovlju laboratorija, iznad ispitne kabine, dok je unutarnja stropna (kazetna) jedinica ugrađena na sredini kontrolno-upravljačke sobe.

## 4.2 Važnija oprema ispitnog postava

Kako bi kočnica za mjerenje snage motora ispravno radila te omogućila nadzor i praćenje rada ispitnog motora potreban je čitav niz uređaja. Složenosti ispitnog postava vidljiv je već iz toga da se uređaji nalaze u četiri različite prostorije uz dodatak ventilacije koja se nalazi u potkrovlju laboratorija.

U prethodnom poglavlju prikazan je cijeli dio ispitnog postava dok je ovdje slikom 4.3 prikazana važnija oprema sjeverne kabine uključujući upravljački panel i računala u kontrolnoj sobi te analizator ispušnih plinova, boce tehničkih plinova i vagu s gorivom koji su odvojeni od same ispitne kabine.



Slika 4.2 Pozicija važnije opreme sjeverne kabine (legenda tablica 4.2)

U tablici 4.1 dan je popis najvažnijih uređaja odnosno opreme ispitnog postava. Za navedenu opremu u tablici je prikazana oznaka koja se koristi na shemama i tlocrtima. Kasnije u radu detaljnije će se opisati neki od navedenih uređaja.

Tablica 4.2 Važnija oprema ispitnog postava

Redni broj	Naziv	Oznaka
1.	Postolje kočnice	PK
2.	Elektromotorna kočnica	EK
3.	Razvodni/upravljački ormar ispitne kabine	RO1
4.	Razvodni ormar kontrolne sobe	RO2
5.	Ventilator dovoda zraka	V1
6.	Ventilator odvoda zraka	V2
7.	Kompresor zraka	KOM
8.	Spremnik zraka	SZ1
9.	Odvlaživač zraka	ODV
10.	Ormar grijača zraka, Osram Sylvania	O1G
11.	Pomični ormar	O2P
12.	Analizator ispušnih plinova Bosch	AB
13.	Upravljački ormar motora	O3M
14.	Ormar dovoda dizelskog goriva	O4D
15.	Spremnik zraka, Pireko	SZ2
16.	Mjerač protoka plinova Coriolis	MP
17.	Ormar analizatora ispušnih plinova	O5A
18.	Vaga goriva	VG
19.	Zaslon vage goriva	VD
20.	Spremnik goriva	SG
21.	Spremnik za kalibraciju analizatora	S3
22.	Boca tehničkog plina, N <sub>2</sub>	B1
23.	Boca tehničkog plina, H <sub>2</sub> He	B2
24.	Boca tehničkog plina, N <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	B3
25.	Boca tehničkog plina, CH <sub>4</sub>	B4
26.	Boca tehničkog plina, CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub>	B5
27.	Elektromotor pumpe goriva	EG
28.	Visokotlačna pumpa goriva s regulatorom tlaka	VP
29.	Grijač zraka usisa	GZ
30.	Regulator ispušnih plinova	RIP
31.	Regulator tlaka	RT
32.	Laminarni mjerač protoka zraka	TSI
33.	Zaklopka snage	ZS
34.	Analizator NO <sub>x</sub>	A1
35.	Mjerač NO <sub>x</sub>	A2
36.	Regulator/ventil tlaka ispušnih plinova	REG
37.	EGR ventil	EGR
38.	Izmjenjivač topline	IT
39.	Umirivač tlačnih oscilacija plinova	UTOP
40.	Umirivač tlačnih oscilacija ispuha	UTOI
41.	Senzor tlaka na ispuhu	STI
42.	Upravljački panel (HMI)	UP

## 4.3 Upravljanje ispitnim postavom

Električni sklopovi tj. moduli koji upravljaju radom elektromotorne kočnice nalaze se u razvodno-upravljačkom ormaru (RO1). Pomoću upravljačkog panela smještene u kontrolnoj sobi vrši se konfiguriranje i pokretanje ispitnog procesa.

Daljnje upravljanje tijekom ispitivanja vrši se preko upravljačkog panela ili programima izrađenim u programskom paketu *LabVIEW* koji se nalazi na zasebnom računalu. Napajanje za računala kojima se nadzire ispitivanje te upravljački ormar motora i ostali uređaji kao što su analizator ispušnih plinova dolaze iz razvodnog ormara (RO2).

### 4.3.1 Upravljanje elektromotornom kočnicom

Elektromotorna kočnica se napaja iz pretvarača napona i frekvencije s aktivnim ulaznim stupnjem (AFE). Upravljački algoritam za kočnicu implementiran je na programabilnom logičkom kontroleru (PLC) u relejnoj logici (engl. *ladder*) koristeći program *TIA portal V12*. Za upravljanje asinkronim motorom se koristi algoritam vektorskog upravljanja u pretvaraču napona i frekvencije, a konfiguracija pretvarača je napravljena u *STARTER* programu. Sustav je realiziran unutar samostojećeg upravljačkog i razvodnog električnog ormara tvrtke Rittal (RO1) s IP 55 zaštitom od prašine i vode. Ormar se nalazi unutra ispitne kabine, a do njega se dovodi napajanje iz glavnog razvodnog ormara Laboratorija za motore i vozila. U ormaru su smještene upravljačke i zaštitne komponente sustava.



Slika 4.3 Razvodno-upravljački ormar RO1

Ispitni motor je s elektromotornom kočnicom (EK) koja je izvedena kao asinkroni motor povezan preko vratila. Asinkroni motor, pretvarač napona i frekvencije (PNIF), upravljački panel (UP), sklopnik, releji i programabilni logički kontroler (PLC) su tvrtke *Siemens*. Glavna zaštitna sklopka je Schneider Compact NSX 160N (100 A), a njezina uloga osim zaštite je i mogućnost isključenja napajanja na samoj sklopki za sve električne komponente kada sustav nije u upotrebi.

Sustav se napaja izmjeničnim naponom 400 V iz glavnog razvodnog ormara LMV-a. Napajanje se dovodi kablom FG70R 5x35 mm<sup>2</sup> (duljine oko 20 m) na glavnu zaštitnu sklopku koja se nalazi u razvodnom ormaru unutar ispitne kabine.

Na vratima ormara je montiran ventilator koji služi za odvođenje topline iz ormara, a uključuje se preko termostata kad temperatura u ormaru dostigne određenu vrijednost. Svi uređaji osim glavnom zaštitnom sklopkom su još zaštićeni i automatskim osiguračima.

Detaljne sheme upravljačkog ormara i opreme izrađene su u okviru izrade ispitnog postava, a izradili su ih djelatnici Zavoda za elektrostrojarstvo i automatizaciju Fakulteta elektrotehnike i računarstva.

Podaci glavnih komponenti sustava prikazani su u tablici 4.3.



Tablica 4.3 Glavne komponente sustava upravljanja elektromotornom kočnicom [11]

	Komponenta sustava		Proizvođač	Podatci komponente
Ispitna stanica	PLC		Siemens	SIMATIC S7-1200, CPU 1215C
	PNIF	upravljачka jed.	Siemens	SINAMICS UPRAVLJAČKA JEDINICA CU320-2 PN
		ulazni filtar		SINAMICS ACTIVE INTERFACE MODULE FOR 55KW ACTIVE LINE MODULE ULAZ: 3AC 380-480V, 50/60HZ
		ispravljač		SINAMICS S120 AKTIVNI ULAZNI MODUL ULAZ: 3AC 380-480V, 50/60HZ IZLAZ: DC 600V, 92A, 55KW
		izmjenjivač		SINAMICS S120 IZMJENJIVAČKI MODUL ZA JEDAN MOTOR, ULAZ: DC 600V IZLAZ: 3AC 400V, 60A
	Motor		Siemens	SIMOTICS M COMPACT ASINKRONI MOTOR 29KW, 120NM, 56A, 400V 2300min-1
	HMI		Siemens	SIMATIC HMI KTP1000 BASIC COLOR PN, 10"
Akvizicijsko-upravljajući sustav	Digitalni ulazno/izlazne moduli		National Instruments	NI 9472 DO, NI 9421 DI
	Analogni ulazno/izlazni Moduli		National Instruments	NI 9215, NI9263, NI9206
	Upravljačka aplikacija		National Instruments	LabVIEW 2014 2014-07-24_ExDam-Siemens_6.vi (razvijeno od strane FSB-a)

Operater preko upravljačkog panela (slika 4.4) ima na raspolaganju upravljanje preko zaslona osjetljivog na dodir (engl. *touch panel*) pomoću kojeg se sustav konfigurira i pokreće.



Slika 4.4 Prikaz upravljačkog panela

Kad je sustav pokrenut ispitivanje se obavlja zadavanjem nazivne vrijednosti brzine ili momenta preko touch panela ili u LabVIEW aplikaciji koja se nalazi na zasebnom računalu. Trenutne mjerene vrijednosti  $n$  - brzina vrtnje [ $\text{min}^{-1}$ ] i  $M_e$  - efektivni moment [Nm] se prikazuju na touch panelu i u LabVIEW aplikaciji. Za razliku od touch panela, LabVIEW aplikacije mogu i spremati podatke mjerenja za daljnju obradu.

Pomoću upravljačkog panela u kontrolnoj sobi upravlja se i pomoćnim uređajima u ispitnoj kabini. Unutar programa upravljačkog panela (ExDAM-Siemens\_6.vi) prikazuje se status uređaja koji omogućuje uključivanje/isključivanje.

Funkcija uključivanja / isključivanja:

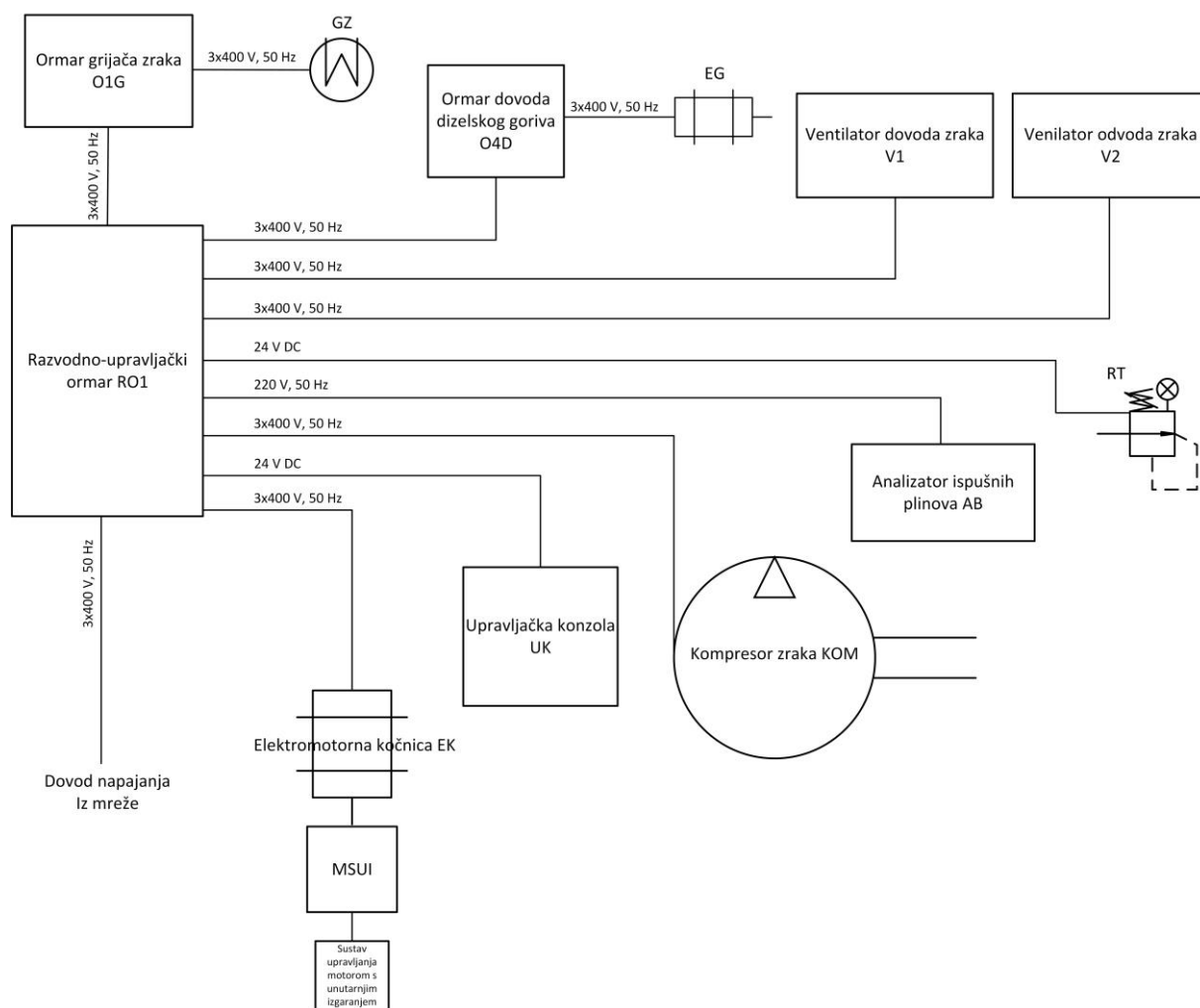
- ventilator za dovodenje zraka (V1),
- ventilator za odvođenje zraka (V2),
- grijač zraka usisa (GZ),
- el. regulator tlaka komprimiranog zraka (RT).

Za svaki se uređaj prikazuje status:

- uključen,
- isključen,
- kvar/preopterećenje.

Uz to, dodan je i uvijet rada kočnice da se ispitivanje ne može pokrenuti ukoliko ventilatori za dovodenje i odvođenje zraka u kabinu nisu uključeni.

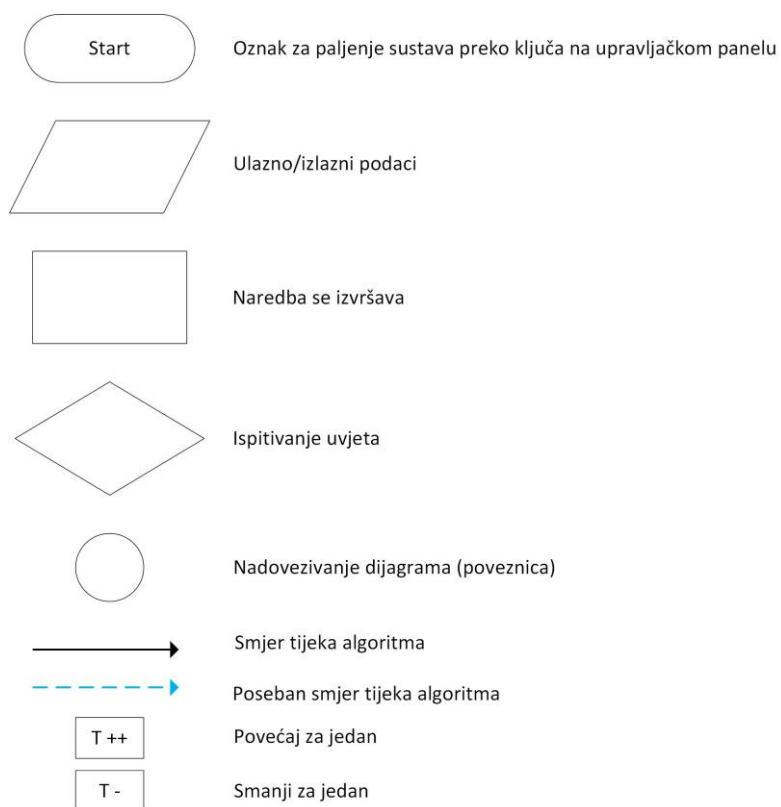
Shemom na slici 4.5 prikazano je napajanje uređaja od razvodno-upravljačkog oramara RO1.



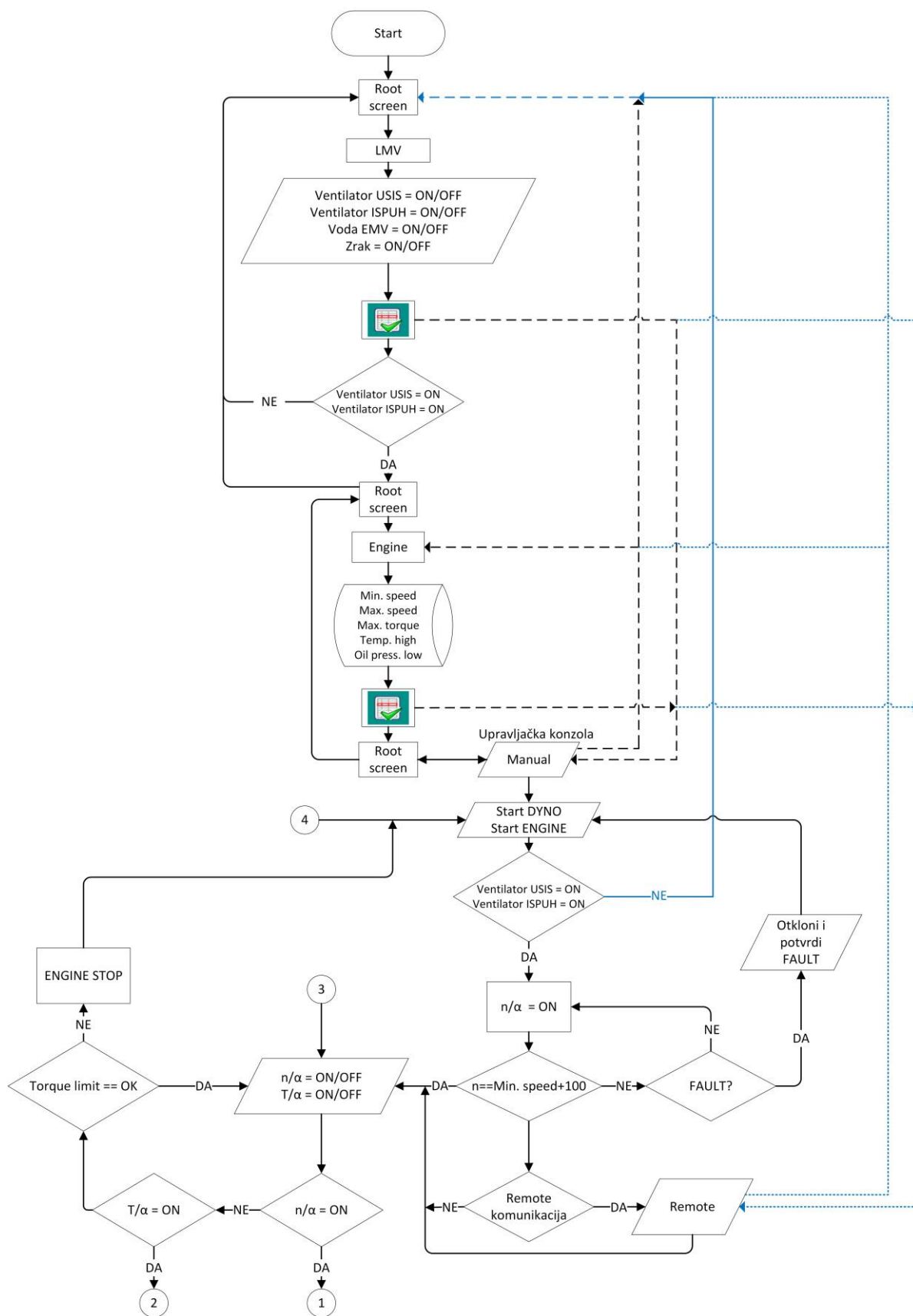
Slika 4.5 Shema napajanja od razvodno-upravljačkog ormara RO1

### 4.3.2 Tok upravljanja kočnicom motora

Kako je ranije spomenuto sustavom ispitne kočnice upravlja se ručno (*Manual*) pomoću upravljačkog panela ili preko vanjskog računala (*Remote*). Upravljanje računalom je izvedeno pomoću aplikacije *LabVIEW* koja preko akvizicijsko-upravljačkog sustava proizvođača National Instruments komunicira s analognim i digitalnim kanalima PLC-a. Dijagram toka upravljanja elektromotornom kočnicom za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem prikazan je shemom na slici 4.6, a oznake simbola prikazane su slikom 4.5



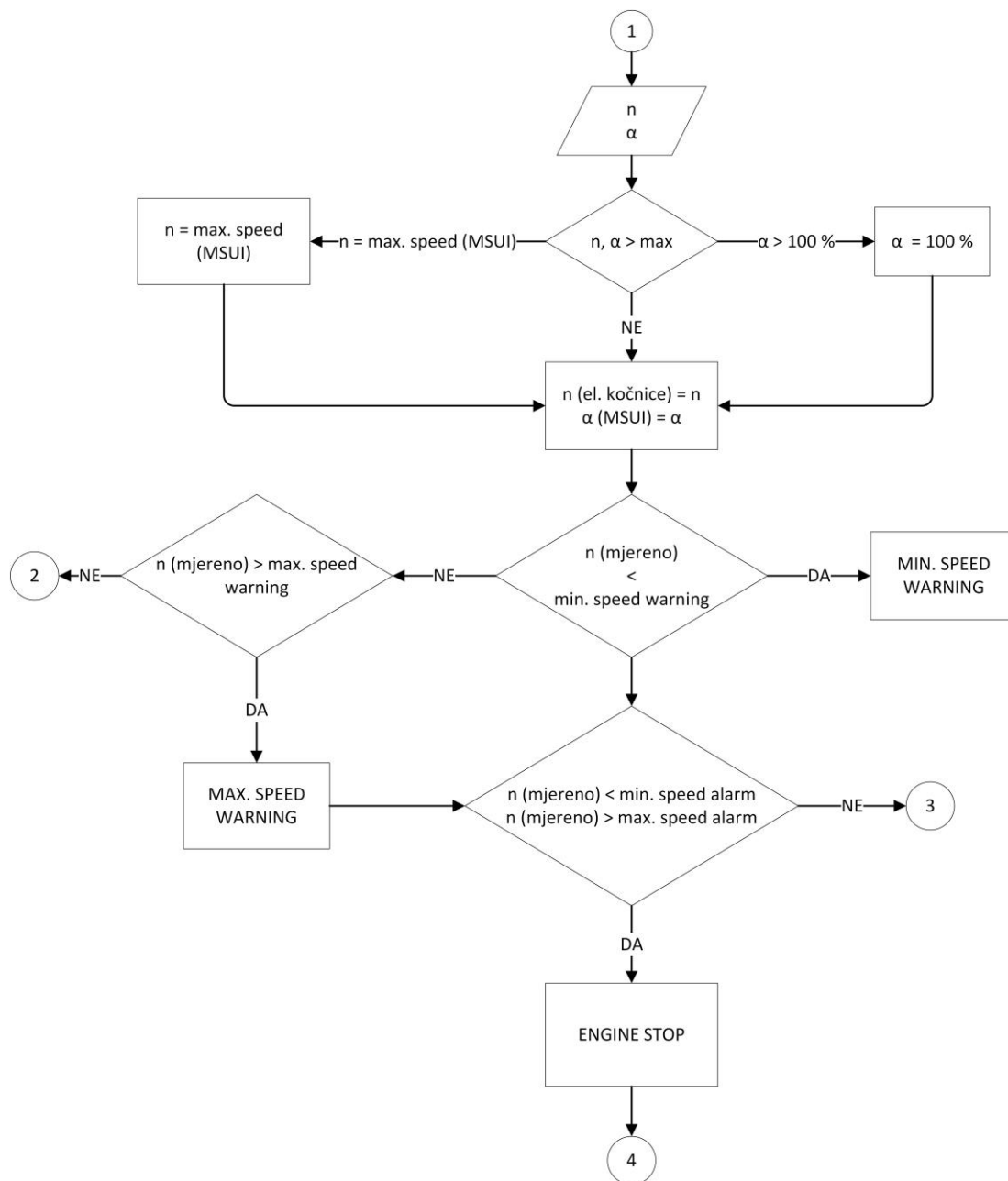
Slika 4.6 Oznake simbola shemi toka pokretanja i upravljanja sustava



Slika 4.7 Dijagram toka pokretanja sustava [11]

## Upravljanje brzinom vrtnje kočnice

Prilikom pokretanja sustava koristi se regulacija brzine vrtnje ( $n/\alpha$ ) elektromotorne kočnice kao starter „anlaser“ kako bi se MSUI zaletio na brzinu dovoljnu za samostalan rad. Ovo minimalna brzina za paljenje MSUI definirana je u postavkama (*Engine*) prije samog pokretanja sustava.

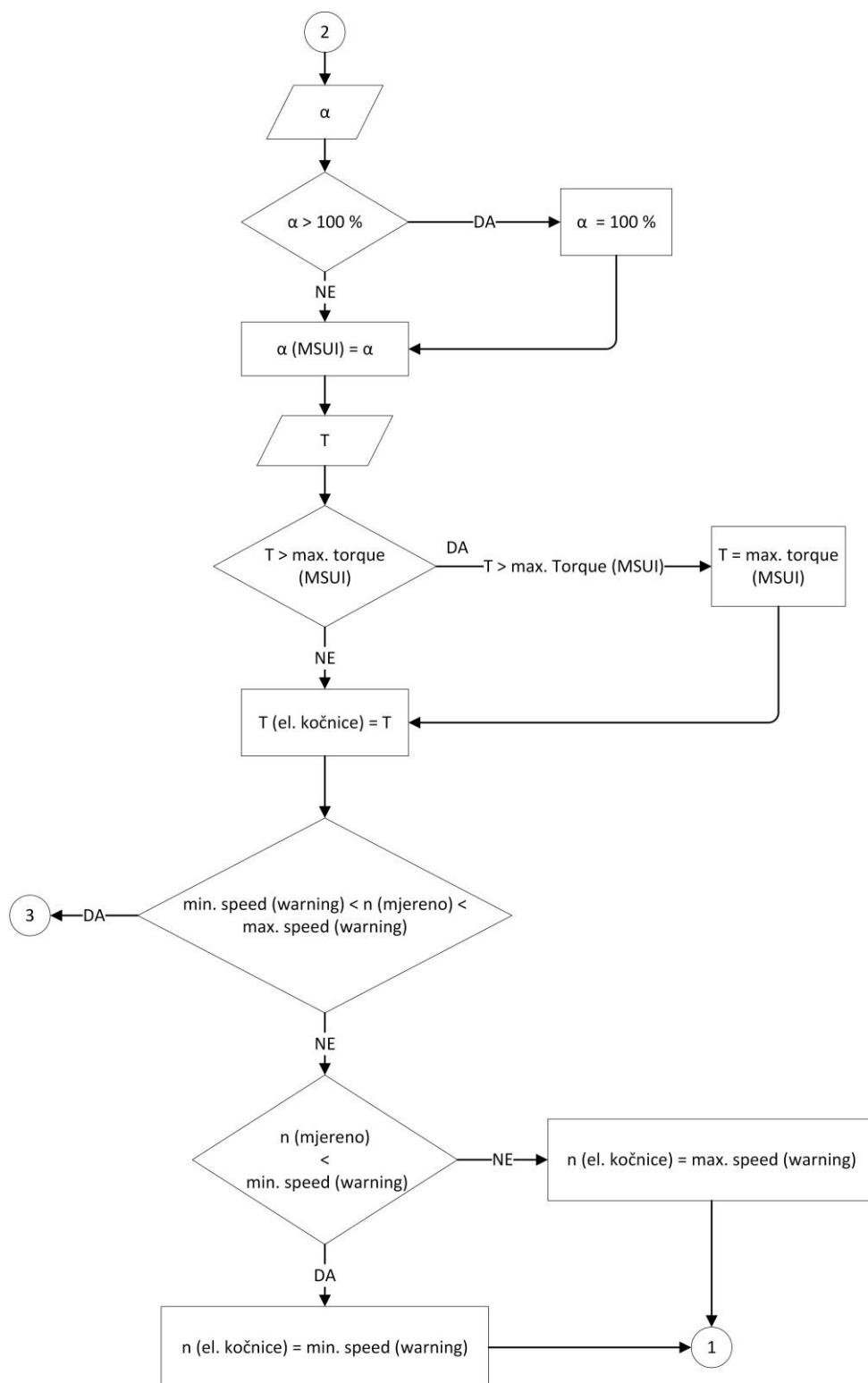


Slika 4.8 Dijagram toka upravljanja brzinom vrtnje ( $n/\alpha$  režim)

## Upravljanje momentom kočnice

Upravljanje kočnicom moguće je održavanjem konstantnog zakretnog momenta na izlaznom vratilu kočnice ( $T/\alpha$ ). Asinkroni motor tada može raditi u motornom ili generatorskom režimu rada. Kada su brzina i zakretni moment na vratilu asinkronog motora istog smjera kao i MSUI tada govorimo o motornom načinu rada kočnice gdje se električna energija uzima iz mreže. U

generatorskom režimu rada brzina i zakretni moment imaju suprotan smjer te se tada električna energija kroz pretvarača napona i frekvencije vraća u električnu mrežu.



Slika 4.9 Dijagram toka upravljanja momentom kočnice ( $T/\alpha$  režim)

### 4.3.3 Upravljanje i nadziranje rada ispitnog motora

Kako je u prošlom poglavlju opisano, napajanje elektromotorne kočnice dolazi iz razvodno-upravljačkog ormara (RO1). Ostatak ispitnog postava uključujući računala, upravljački ormar ispitnog motora, analizatore plinova, vagu za mjerenje utrošenog goriva itd. napajaju se iz razvodnog oramara (RO2) prikazanog na slici 4.5.

Također, razvodni ormar RO2 napaja ostatak dijela LMV za ispitivanje motora, što uključuje čitavu rasvjetu (uključujući ispitnu kabinu) i utičnice (230 V, 50 Hz) kako u kontrolnoj sobi tako i u sobi 3 (vidi sliku 4.1).



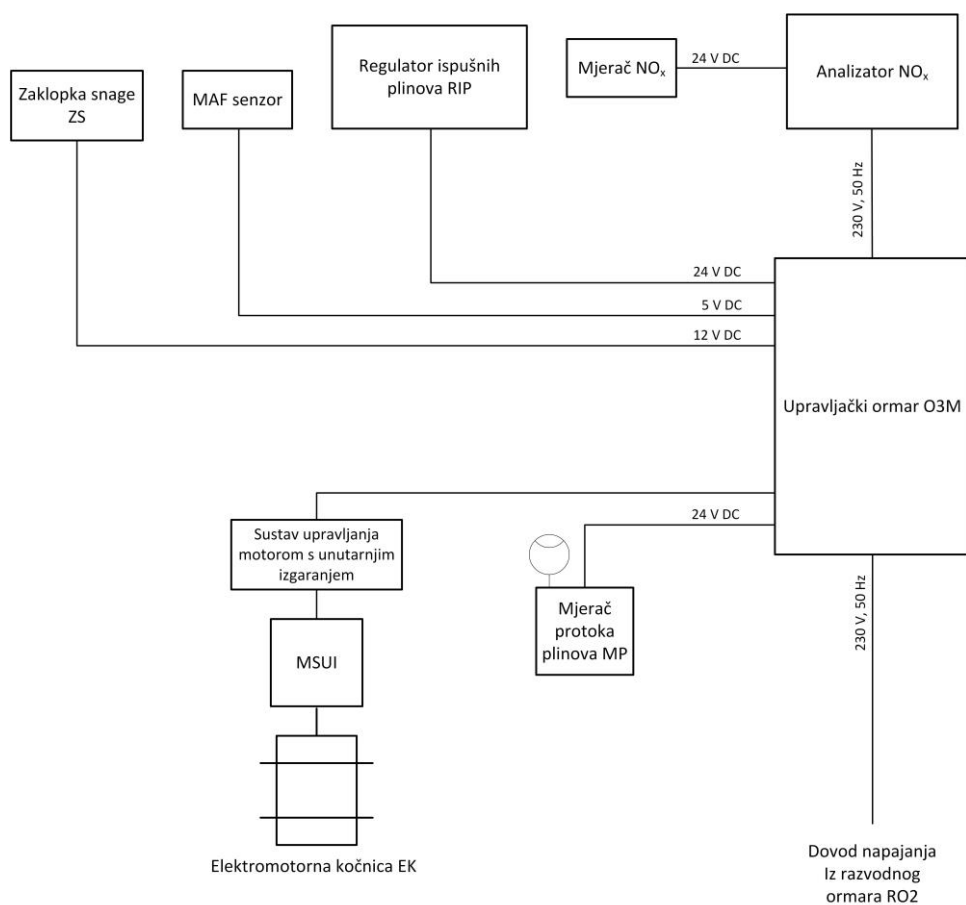
*Slika 4.10 Razvodni ormar RO2*

Upravljanje radom motora i očitavanje potrebnih parametara prilikom rada ispitnog postava vrši se pomoću upravljačkog ormara motora O3M. On je pak spojen utičnicom koja se nalazi u kontrolnoj sobi spojenu na niskonaponsku električnu mrežu (230 V, 50 Hz). Uz to svi senzori i aktuatori na ispitnom motoru spajaju se na upravljački ormar motora prikazanog na slici 4.6.





Slika 4.11 Upravljački ormar ispitnog motora O3M



Slika 4.12 Shema napajanja od upravljačkog ormara motora O3M

Za upravljanje, nadzor i praćenje rada ispitnog motora sjeverne kabine u kontrolno upravljačkoj sobi trenutno se nalazi četiri računala, uz upravljački panel (slika 4.12). Napajanje računala je jednofaznospojeno na niskonaponsku mrežu 230 V, 50 Hz te dolazi iz razvodnog ormara RO2.



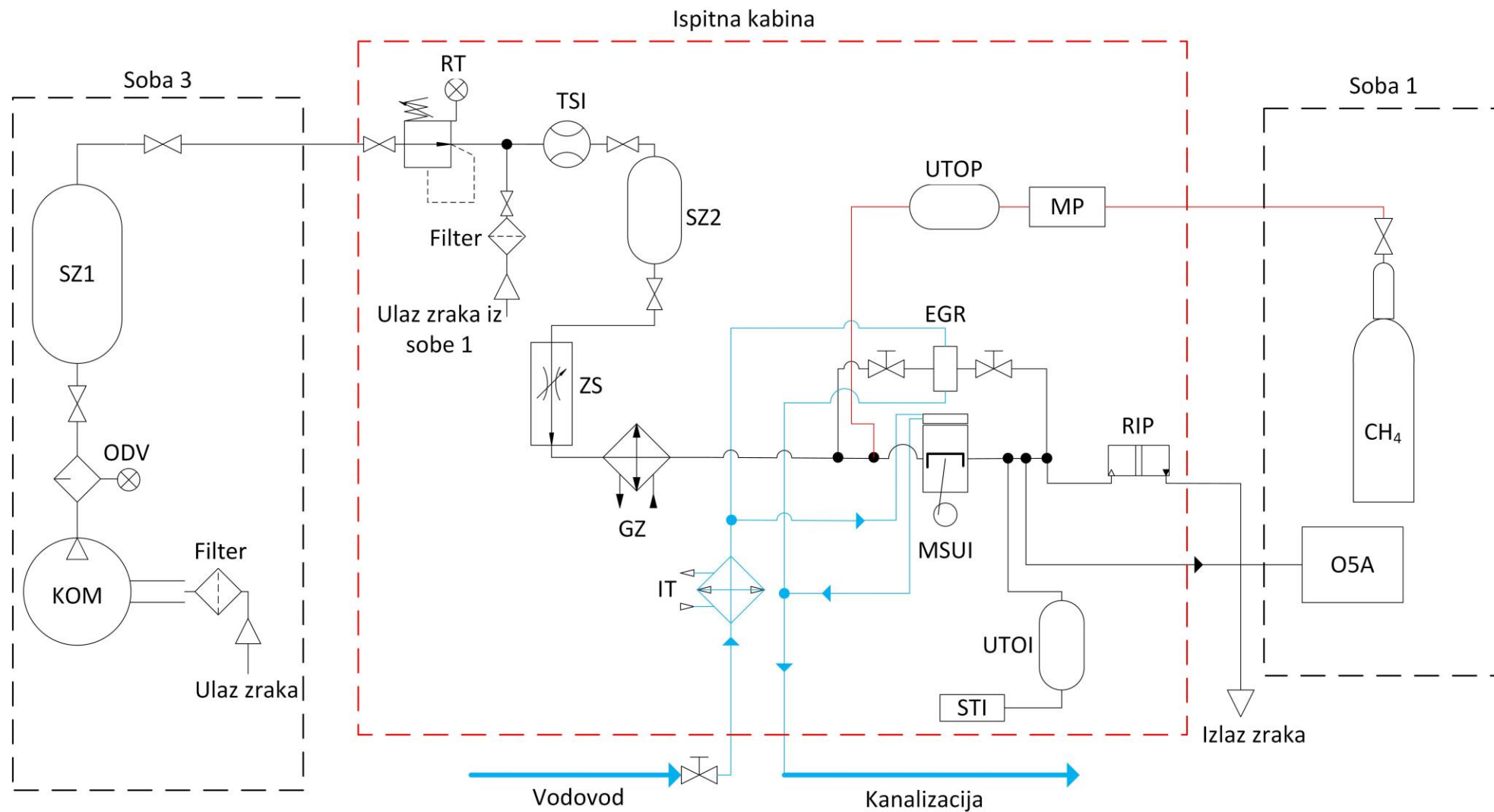
*Slika 4.13 Prikaz višestrukih monitora za nadzor i praćenje ispitivanja*

## 4.4 Tok zraka ispitnog postava

Zrak koji usisava ispitni motor dobavlja se pomoću kompresora (KOM) koji se nalazi u sobi 3 (alatnica). Zrak iz kompresora prolazi kroz odvlaživač zraka (ODV) i odlazi u spremnik zraka (SZ1). Dalje, iz spremnika zrak se cijevima koje se nalaze ispod poda laboratorija vodi do ispitne kabine gdje dolazi do električnog regulatora tlaka komprimiranog zraka (RT), zatim odlazi do laminarnog mjerača protoka zraka (TSI). Ako ispitni motor koristi atmosferski, nekomprimirani zrak, tada taj zrak dolazi cijevima iz sobe 1 kroz filter te se spaja na glavnu cijev/vod između regulatora tlaka i laminarnog mjerača. Potome zrak odlazi u spremnik (SZ2), a zatim do zaklopke snage (ZS) kojom se regulira protok zraka u motor. Nakon zaklopke zrak prolazi kroz grijač zraka (GZ) kojim se po potrebi regulira temperatura usisanog zraka te naposljetku dolazi do ispitnog motora. Iz motora ispušni plinovi odlaze u ventilaciju za izbacivanje zraka pritom prolazeći kroz regulator protoka ispušnih plinova (RIP), dok dio njih se vraća povratom ispušnih plinova (EGR). EGR ventil hlađen je vodom koja dolazi iz gradskog vodovoda. Fleksibilnim gumenim crijevima EGR ventil povezan je na vodovod i s druge strane odvod u kanalizaciju.

Prije ulaza usisne grane u ispitni motor postavljena je brizgaljka te se gorivo, u ovom slučaju metan, do nje dobavlja iz sobe 1, prolazi kroz Coriolisov mjerač protoka plinova te kroz umirivač tlačnih oscilacija plinova (UTOP).

Nakon izlaska iz motora dio ispušnih plinova najprije odlazi u spremnik, umirivač tlačnih oscilacija ispušnih plinova (UTOI) da bih došao do senzora tlaka na ispuhu (STI). Zatim drugi dio odlazi u analizator ispušnih plinova (O4A) kojim se mjeri udio ugljikovodika (THC) i nemetanskih ugljikovodika (NmHC) te udio metana ( $\text{CH}_4$ ). Ostatak plinova odlazi u ispuh.



Slika 4.14 Shema toka zraka, vode i pogonskog plinovitog goriva ispitnog postava (legenda tablica 4.1)

**Kompresor zraka (KOM)**

*Slika 4.15 Kompresor zraka Boge SD 24-2*

Tehnički podaci kompresora Boge SD 24-2 [12]:

- dimenzije: (ŠxDxV) 1200 x 850 x 1500 mm
- snaga uređaja: 18,35 kW
- maksimalan protok 3,05 m<sup>3</sup>/min pri 8 bar
- masa 695 kg
- napajanje od razvodno-upravljačkog ormara RO1 – 3x400 V, 50 Hz
- oznaka osigurača -C63, 63 A (Prilog – Shema DR-005)

**Spremnik zraka (SZ1)**

- 1 – dobavna cijev iz kompresora, 2 – odvlaživač zraka, 3 – manometar, 4 – uređaj za skupljanje kondenzata, 5 – sigurnosni ventil, 6 – cijev prema ispitnoj kabini

*Slika 4.16 Spremnik zraka*

Spremnik zraka proizvođača *OTS Otto Klein*:

- ugradbene dimenzije s pripadajućom opremom: (ŠxDxV) 1130 x 1200 x 2380 mm
- kapacitet: 1000 l
- maksimalan radni tlak: do 11 bar
- radna temperatura: od -10 °C do 50 °C

Odvlaživač zraka: Bodge, radni tlak 16 bar, radna temp. od 1,5 °C do 80 °C, volumen 2 l

Uređaja za skupljanje kondenzata: Bodge, napajanje – 230 V, 50 Hz

### Regulator tlaka (RT)



*Slika 4.17 Regulator tlaka zraka*

Regulator tlaka Festo MS6-LRE-1:

- napajanje i upravljanje od razvodno-upravljačkog ormara RO1, 24 V
- maksimalan radni tlak: do 20 bar

### Laminarni mjerač protoka zraka (TSI)



*Slika 4.18 Senzor masenog protoka zraka*

Laminarni mjerač protoka zraka proizvođača *TSI*, model 2017L-V:

- napajanje od upravljačkog ormara motora O3M, 5 V
- područje rada 0 – 3500 SLPM (engl. *Standard liters per minute*)



### Zaklopka snage (ZS)



*Slika 4.19 Zaklopka snage Bosch PBT GF30*

Zaklopka snage skinuta s vozila Citroen C5 3,0 V6:

- proizvođač *Bosch*
- model PBT GF30
- napajanje i upravljanje od upravljačkog ormara O3M

### Grijač zraka (GZ)

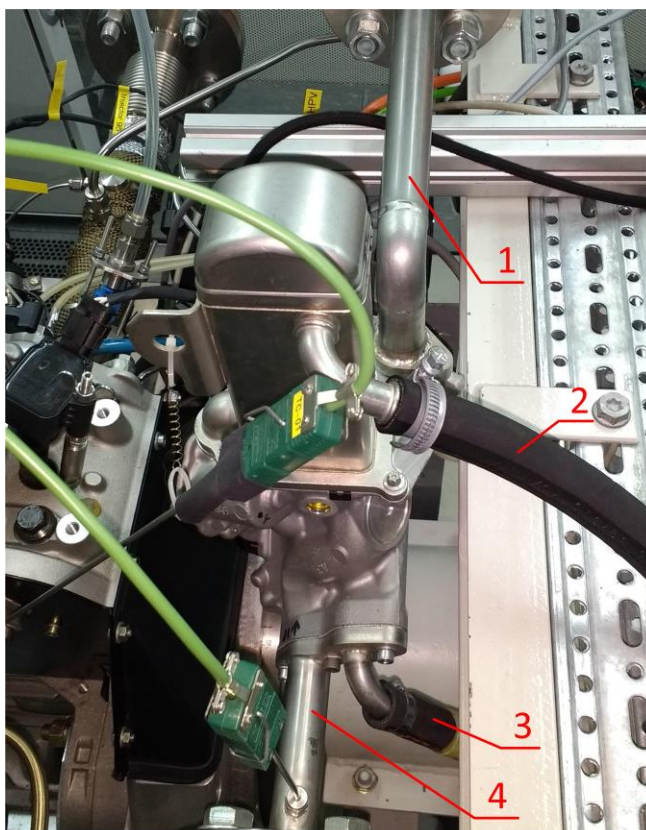


*Slika 4.20 Grijač zraka Sylvania SureHeat Max*

Grijač usisanog zraka ispitnog motora Sylvania SureHeat Max:

- snaga: 18 kW
- napajanje i upravljanje od ormara grijača zraka O1G, 3x400 V
- najveća jakost struje grijača 27,4 A
- sigurač -C32, 32 A (Prilog – Shema DR-005)

## Povrat ispušnih plinova (EGR)



1 – cijev prema usisu, 2 – dobava vode, 3 – odvod vode, 4 – cijev iz ispuha

Slika 4.21 EGR ventil

EGR ventil skinut s vozila Ford Mondeo 2.0 TDCI

- proizvođač Valeo, model MM111BL

- mjerenje temperature prije (TC-02) i poslije (TC-03) ventila (Prilog – Shema DR-002)

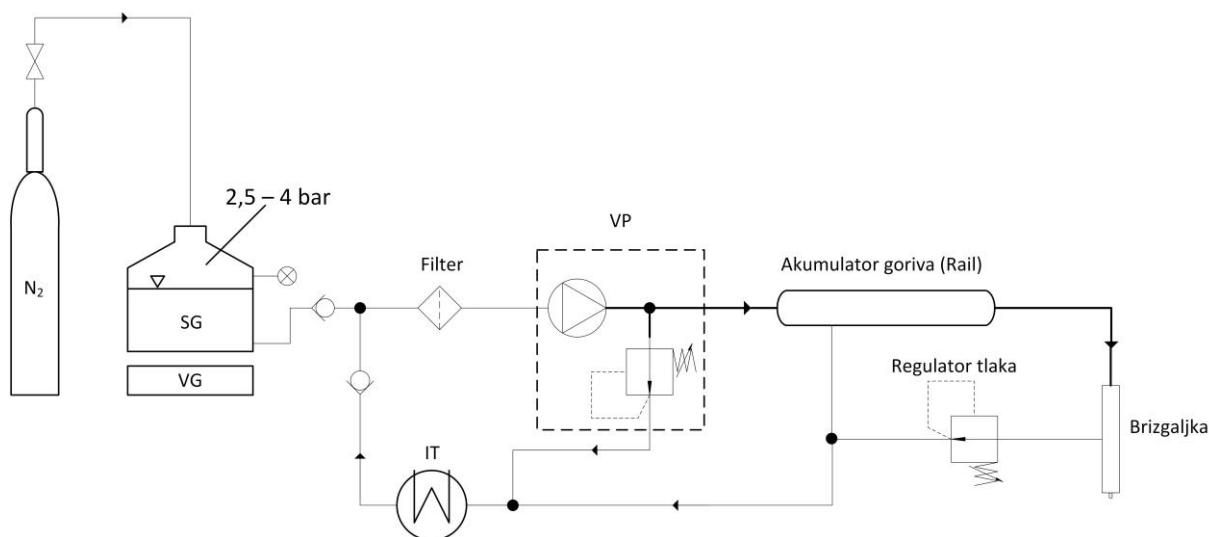
## 4.5 Tok goriva ispitnog postava

Kako su za ispitni postav moguće kombinacije tri pogonska goriva u nastavku će biti posebno prikazana svaka od njih.

### Dizelsko gorivo

Iz boce za tehničke plinove dušikom ( $N_2$ ) tlači se spremnik (SG) u kojemu se nalazi dizelsko gorivo s približno 2,5 do 4 bara. Na spremniku goriva nalazi se manometar kojim se mjeri tlak. Fleksibilnim crijevima gorivo se vodi iz sobe 1 do ispitne kabine tj. do filtra dizelskog goriva te zatim do visokotlačne pumpe koja u sebi ima ugrađen regulator tlaka (VP), a pokreće ju elektromotor Siemens Simotic F-1FL6 (EG). Dalje, gorivo visokotlačnim cijevima ulazi u akumulator goriva (Rail) iz kojega odlazi do brizgaljke. Regulatorom tlaka odvodi se višak goriva, uz višak od akumulatora goriva i visokotlačne pumpe, povratnim vodom do hladnjaka (IT). Ohlađen ostatak goriva ponovo odlazi do filtra te se proces ponavlja.

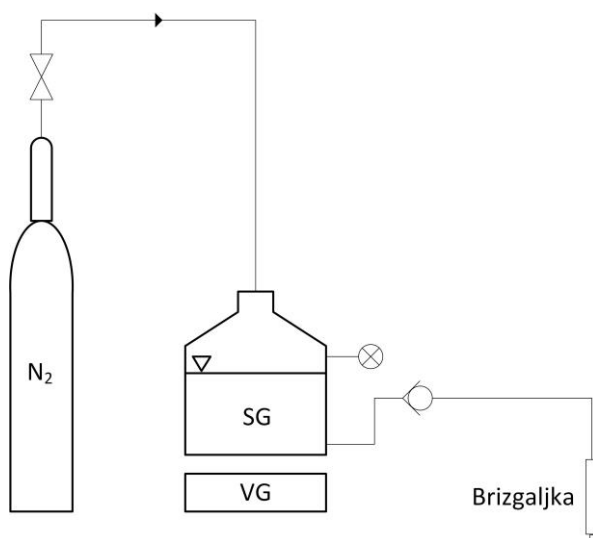
Vagom (VG) mjeri se potrošnja goriva tako što se prati masa spremnika goriva. Uz poznatu gustoću dizelskog goriva određuje se potrošnja.



Slika 4.22 Shema toka goriva ispitnog postava za dizelsko gorivo

### Benzin

Način rada pri pogonu benzionm praktički je jednak kao i pri pogonom dizelskim gorivom, samo što je tlak koji dolazi u spremnik goriva dovoljno velik da se gorivo dovodi izravno pred brizgaljku.



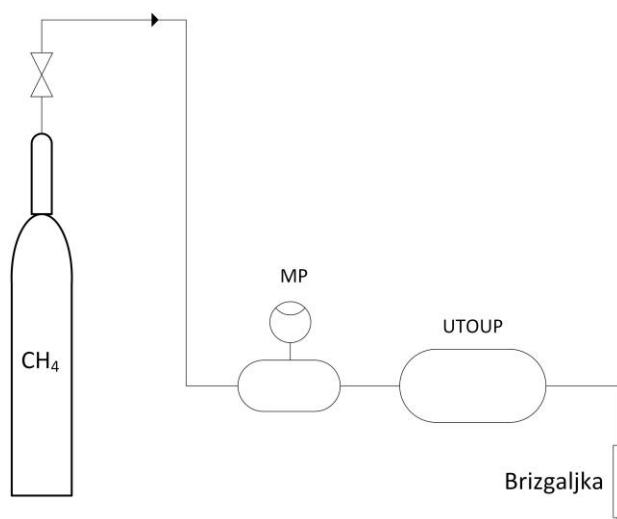
Slika 4.23 Shema toka goriva ispitnog postava za benzin

### Plinovito gorivo (metan)

Pri ispitivanju motora pogonjenog metanom, gorivo iz boce za tehničke plinove fleksibilnim se crijevom iz sobe 3 dovodi do ispitne kabine u Coriolisov mjerac protoka plinova (MP) kojime se određuje maseni i volumni protok metana, te njegova gustoća. Potom dalje kroz spremnik-



umirivač tlačnih oscilacija (UTOP) gorivo dolazi do brizgaljke kojom se ubrizgava u usis ispitnog motora.



Slika 4.24 Shema toka goriva ispitnog postava za plinovito gorivo (metan)

### Mjerač protoka plinova Coriolis



Slika 4.25 Mjerač protoka plinova, Coriolis

Proizvođač *Endress-Hauser*

- model Promass F 100
- određuje se maseni, volumni protok, te gustoća plinova
- napajanje od upravljačkog ormara O3M

## **Elektromotor pumpe goriva**



*Slika 4.26 Elektromotor pumpe goriva*

Elektromotor pumpe dizelskog goriva:

- proizvođač *Siemens*, model Simotics S-1FL6
- napajanje i upravljanje od upravljačkog ormara O4D; 3x400 V, 50 Hz
- najveća snaga  $P=1,5$  kW, broj okretaja  $n=2000$  min<sup>-1</sup>, zakretni moment  $M=8$  Nm

## 4.6 Zaštita od buke

Mjerama zaštite od buke mora se spriječiti nastajanje emisije prekomjerne buke, odnosno smanjiti postojeća buka na dopuštene razine. Ako njezin intenzitet prelazi zakonom dopuštene granice, a to je prema Direktivi 2002/49/EC europskog parlamenta i vijeća o procjeni i upravljanju bukom iz okoliša [13] razina od 85 dB, moraju se poduzeti odgovarajuće mjere kako bi se spriječio štetan utjecaj buke na zaposlenike, na opremu i objekte, a i na okruženje samog sustava. Stoga je prilikom ispitivanja motora s unutarnjim izgaranjem bitno buku zadržati unutar ispitne kabine.

U Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, navedene su najviše dopuštene razine buke u otvorenom prostoru koje su dane tablicom 4.4, te u zatvorenom prostoru s obzirom na vrstu djelatnosti dane tablicom 4.5.

Tablica 4.4 Dopuštene razine buke u otvorenom prostoru [14]

Zona buke	Namjena prostora	Najviše dopuštene ocjenjske razine buke emisije $L_{RAeq}$ dB(A)	
		za dan ( $L_{dan}$ )	za noć ( $L_{noć}$ )
1.	Zona namijenjena odmoru, oporavku i liječenju	50	40
2.	Zona namijenjena samo stanovanju i boravku	55	40
3.	Zona mješovite, pretežno stambene namjene	55	45
4.	Zona mješovite, pretežno poslovne namjene sa stanovanjem	65	50
5.	Zona gospodarke namjene (proizvodnja, industrija, skladišta, servisi)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Na granici građevinske čestice unutar zone – buka ne smije prelaziti 80 dB(A)</li> <li>- Na granici ove zone buka ne smije prelaziti dopuštene razine zone s kojom graniči</li> </ul>	

Dopuštena razine buke izvan laboratorija, s obzirom na lokaciju FSB-a i LMV te namjenu okolnih zona, na granici zona je primjenjiva granična vrijednost razine buke prema tablici 4.4 pod rednim brojem 3 za zonu mješovite, pretežno stambene namjene koja iznosi 55 dB danju i 45 dB noću.

Dopuštena razina buke, prema pravilniku, za kontrolnu sobu uzima se iz tablice 4.5 pod rednim brojem 3 te iznosi 55 dB jer se predviđa zahtjevniji umni rad.

Tablica 4.5 Dopuštene razine buke u zatvorenom prostoru s obzirom na vrstu djelatnosti [15]

R. br.	Opis posla	Najviša dopuštena razina buke $L_{A,eq}$ u dB(A)	
		(a)*	(b)*
1.	Najzahtjevniji umni rad, vrlo velika usredotočenost, rad vezan za veliku odgovornost, najsloženiji poslovi upravljanja i rukovođenja	45	40
2.	Pretežno umni rad koji zahtijeva usredotočenost, kreativno razmišljanje, dugoročne odluke istraživanje, projektiranje, komuniciranje sa skupinom ljudi	50	40
3.	Zahtjevniji uredski poslovi, liječničke ordinacije, dvorane za sastanke, školska nastava, neposredno govorno i/ili telefonsko komuniciranje	55	45
4.	Manje zahtjevni uredski poslovi, pretežno rutinski umni rad koji zahtijeva usredotočenje ili neposredno govorno i/ili telefonsko komuniciranje, komunikacijske centrale	60	50
5.	Manje zahtjevni i uglavnom mehanizirani uredski poslovi, prodaja, vrlo zahtjevno upravljanje sustavima, fizički rad koji zahtijeva veliku pozornost i usredotočenost, zahtjevni poslovi montaže	65	55
6.	Pretežno mehanizirani uredski poslovi, zahtjevno upravljanje sustavima, upravljačke kabine, fizički rad koji zahtijeva stalnu usredotočenost, rad koji zahtijeva nadzor sluhom, rad koji se obavlja na temelju zvučnih signala	70	60
7.	Manje zahtjevni fizički poslovi koji zahtijevaju usredotočenost i oprez, manje zahtjevno upravljanje sustavima	75	65
8.	Pretežno rutinski fizički rad sa zahtjevom na točnost, praćenje okoline slušanjem	80	65
a) Razina buke na radnome mjestu koja potječe od proizvodnih izvora b) Razina buke na radnome mjestu koja potječe od neproizvodnih izvora (ventilacija, klima uređaj)			

Izmjerena buka u kontrolnoj sobi pri radu eksperimentalnog motora na  $1600 \text{ min}^{-1}$  prikazana je slikom 4.27 gdje se može vidjeti razlika razine buke s otvorenim sigurnosnim vratima i sa zatvorenim. Učljivo je kako je razina buke sigurnosnim vratima smanjena za približno 15 dB.



Slika 4.27 Razina buke u kontrolnoj sobi pri radu MSUI na  $1600 \text{ min}^{-1}$  s otvorenim vratima (lijevo) i sa zatvorenim (desno)

Izmjerena je i razina buke na  $2000 \text{ min}^{-1}$  koja je prikazana slikom 4.28 gdje je za veći broj okretaja razina buke u oba slučaja očekivano porasla, no i dalje ne prelazi graničnu vrijednost od 55 dB.



Slika 4.28 Razina buke u kontrolnoj sobi pri radu MSUI na  $2000 \text{ min}^{-1}$  s otvorenim vratima (lijevo) i sa zatvorenim (desno)



Slika 4.29 Razina buke u dvorištu LMV (istok – prema stambenim zgradama)

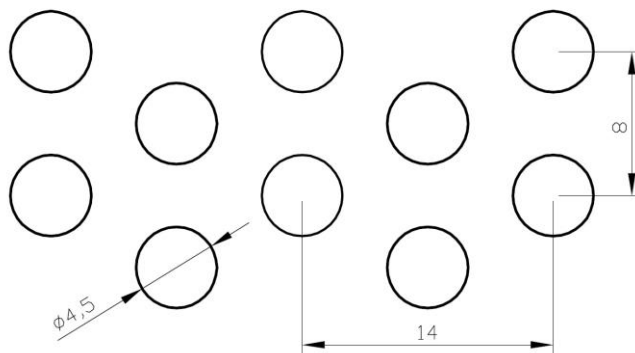
Slikom 4.29 prikazana je razina buke u istočnom dijelu dvorišta LMV gdje najveća buka dolazi iz ventilacijskih cijevi. Mjerenje je vršeno pri radu eksperimentalnog motora na  $2000 \text{ min}^{-1}$  te je izmjerena razina buke 60,3 dB. U trenutku mjerenja buke nije bilo moguće izmjeriti buku na granici mješovite zone, pretežno stambene namjene zbog okolnih radova u tom području.

Potrebno je istaknuti da se izmjerene vrijednosti razine buke eksperimentalnog motora na  $1600 \text{ min}^{-1}$  i  $2000 \text{ min}^{-1}$  nalaze u najčešćem radnom području ispitivanja motora. Trenutno postavljeni motor rijetko se ispituje na višim brzinama vrtnje, iako je njegova najveća brzina vrtnje oko  $3600 \text{ min}^{-1}$ . Zbog složenosti postupka pripreme ispitnog motora za rad na visokom broju okretaja mjerenje razine buke u tom području rada nije provedeno.

#### 4.6.1 Paneli za zvučnu izolaciju ispitne kabine

Zaštita od buke izvedena je u skladu s normom ISO 3745:2003 (Određivanje razine jačine zvuka i izvora buke pomoću zvučnog pritiska – Ispitne metode za nijeme sobe). Za zaštitu od buke korišteni su izolacijski paneli njemačke tvrtke *FAIST Anlagenbau* koji apsorbiraju buku prema van do 80 dB. Pogled u unutrašnjost ispitne kabine omogućen je kroz sigurnosno staklo.

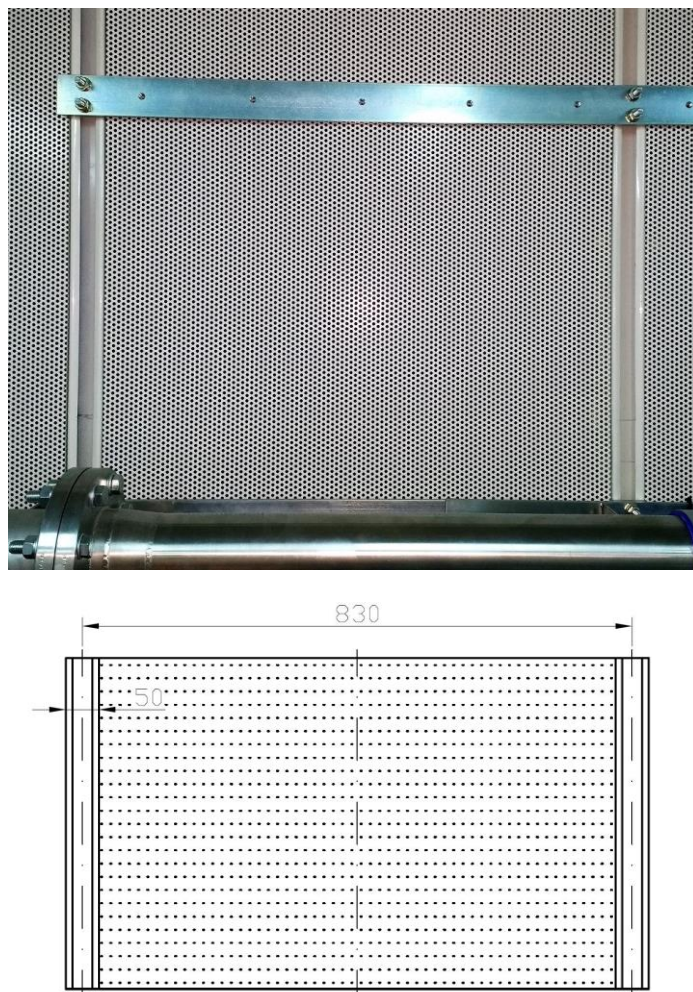
Paneli za zvučnu izolaciju ispitne kabine postavljeni su na sve zidove te strop. Na prednjoj strani panela nalaze se perforirane metalne ploče s promjerom rupa od 4,5 mm (slika 4.30)



Slika 4.30 Prikaz rasporeda rupa na perforiranom limu izolacijskih panela

Između izolacijskih panela nalaze se vodilice na koje se učvršćuju nosači potrebni za učvršćenje pojedine opreme ispitne kabine. Vodilice su širine 50 mm te su razmaknute 830 mm kako je prikazano na slici 4.31.





*Slika 4.31 Prikaz dijela izolacijskih panela (gore); razmak između vodilica (dolje)*

## 4.7 Najveća angažirana snaga električne energije

U svrhu izračuna potrošnje električne energije ispitnog postava u nastavku će biti prikazani svi potrošači. Navedene vrijednosti snage izražene su u kW, a odnose se za najnepovoljniji slučaj, kada svi uređaji rade svojom punom snagom.

Tablica 4.6 Izračun najveće angažirane snage el. energije

Potrošač	Nazivna snaga, kW
Ventilator dovođenja zraka	4,4
Ventilator odvođenje zraka	4,5
Elektromotorna kočnica	30
Kompresor zraka	18,5
Grijač zraka	18
Elektromotor pumpe goriva	1,5
Klimatizacijski uređaj kontrolne sobe	≈ 1
Računala kontrolne sobe	≈ 1
Rasvjeta kabine i kontrolne sobe	≈ 1
Ostali uređaji	≈ 2
<b>Ukupno, kW</b>	<b>≈ 82</b>

Potrebno je napomenuti kako je nazivna snaga dana tablicom ekstremno slučaj, te da se u praksi takva nazivna snaga gotovo da ne može ostvariti.

Za trenutni eksperimentalni ispitni motor na osnovi Hatz 1D81Z čija je najveća snaga približno 15 kW vrijednosti iz tablice 4.6 moguće je uvelike smanjiti. Također, elektromotorna kočnica pri radu ispitnog motora (u generatorskom režimu) vraća snagu u mrežu, što dodatno smanjuje ukupnu potrebu angažirane snage ispitnog postava.



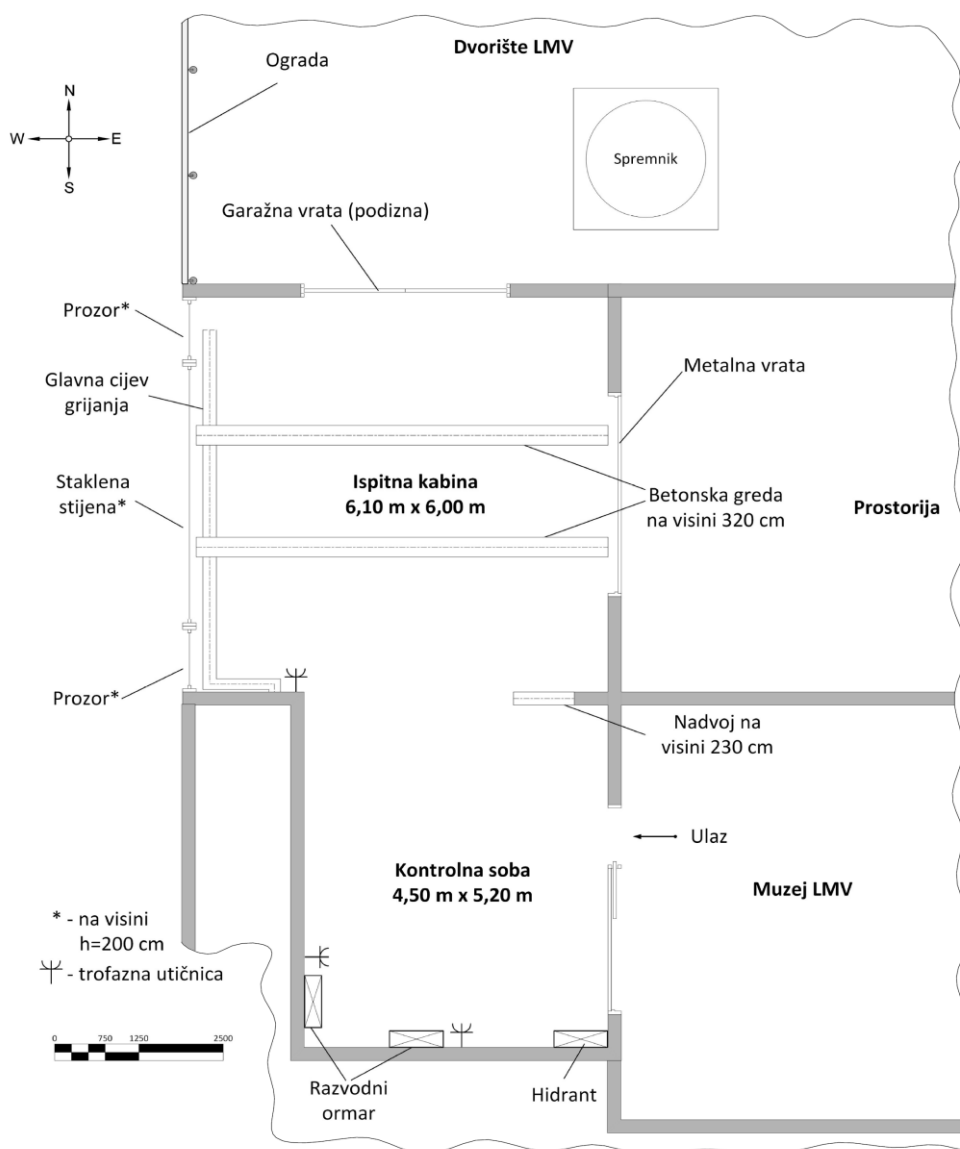
## 5. Razrada preseljenja ispitnog postava

Postojeću sjevernu kabinu potrebno je preseliti zajedno sa svom pripadajućom ranije opisanom opremom na novu lokaciju u prostoriju za ispitivanje sidrišta sjedala (trenutna namjena). Kako stroj za ispitivanje sjedala koji se trenutno nalazi u prostoriji svojim dimenzijama u potpunosti zauzima prostoriju, njegovim bi se uklanjanjem dobio prostor ukupne površine 60 m<sup>2</sup>.

Predviđena prostorija podijelila bi se na dva dijela kako je prikazano slikom 5.1. Dio ispitne kabine površine 36,6 m<sup>2</sup> i dio kontrolne sobe površine 23,4 m<sup>2</sup>.

Za ispitni postav za ispitivanje malih motora potrebne su najmanje tri zasebne prostorije:

- ispitna kabina,
- kontrolna soba,
- soba za tehničke plinove i goriva.



Slika 5.1 Tlocrt nove lokacije ispitnog postava

Prostor za smještaj boca tehničkih plinova i spremnik goriva uz vagu te ormar analizatora plinova potrebno je odvojiti od ispitne kabine i kontrolne sobe. Kako je ranije već spomenuto, zbog sigurnosnih razloga u slučaju curenja plinova, te turbulencija zraka koje bi omele mjerenje vrlo osjetljive vage za gorivo. Za novu lokaciju ove opreme predviđena je prostorija Zavoda za termodinamiku na slici 5.1 desno od prostorije predviđene za ispitnu kabinu. Prostoriju Zavoda za termodinamiku od ispitne kabine razdvajaju metalna pregrada/vrata širine 3 m. Za privremene potrebe ispitnog postava dovoljna površina za smještaj boca tehničkih plinova, spremnika goriva s vagom te ormara analizatora iznosi oko 4 m<sup>2</sup>.

U prostoriji planiranoj za postavljanje kočnice na sjevernoj strani nalaze se podizna garažna vrata širine 3 m, dok se na zapadnoj strani na visi od 200 cm nalaze prozori širine 6 m. Ukupna visina prostorije iznosi 3,6 m, visina do greda iznosi 3,2 m dok je najmanja visina 3 m – do vodilica garažnih vrata. Kako je visina postojeće ispitne kabine 2,68 m, zaključuje se da će se u prostoriji veće visine moći ugraditi sva oprema iz postojeće ispitne kabine te smještaj sustava ventilacije, kompresora i spremnika zraka. Iskoristiva površina planirane ispitne kabine nešto je manja od 36,6 m<sup>2</sup> iz razloga što se uz zapadni zid te uz dio južnog zida nalaze dvije cijevi grijanja promjera 300 mm jedna ispod druge, na visini od 190 cm.

U dijelu prostorije planirane za smještaj kontrolne sobe ispitnog postava visina iznosi 3,58 m, a u nju se sa istočne strane ulazi iz muzeja Laboratorija za motore i vozila kliznim vratima postavljenim na gips-kartonsku pregradu širine 3 m. Na južnom zidu nalazi se razvodni ormar, hidrant te trofazna utičnica, dok se na zapadnom zidu nalazi drugi razvodni ormar i trofazna utičnica.

## 5.1 Idejno rješenje pozicioniranja ispitnog postava

S obzirom da nova lokacija ispitne kabine treba poslužiti kao privremeno rješenje u vremenskom trajanju od 1 do 1,5 godine, potrebno je iskoristiti većinu postojeće opreme i uređaja te na što lakši i jednostavniji način, uključujući i financijski prihvatljiv, trošak preseljenja postojećeg postava.

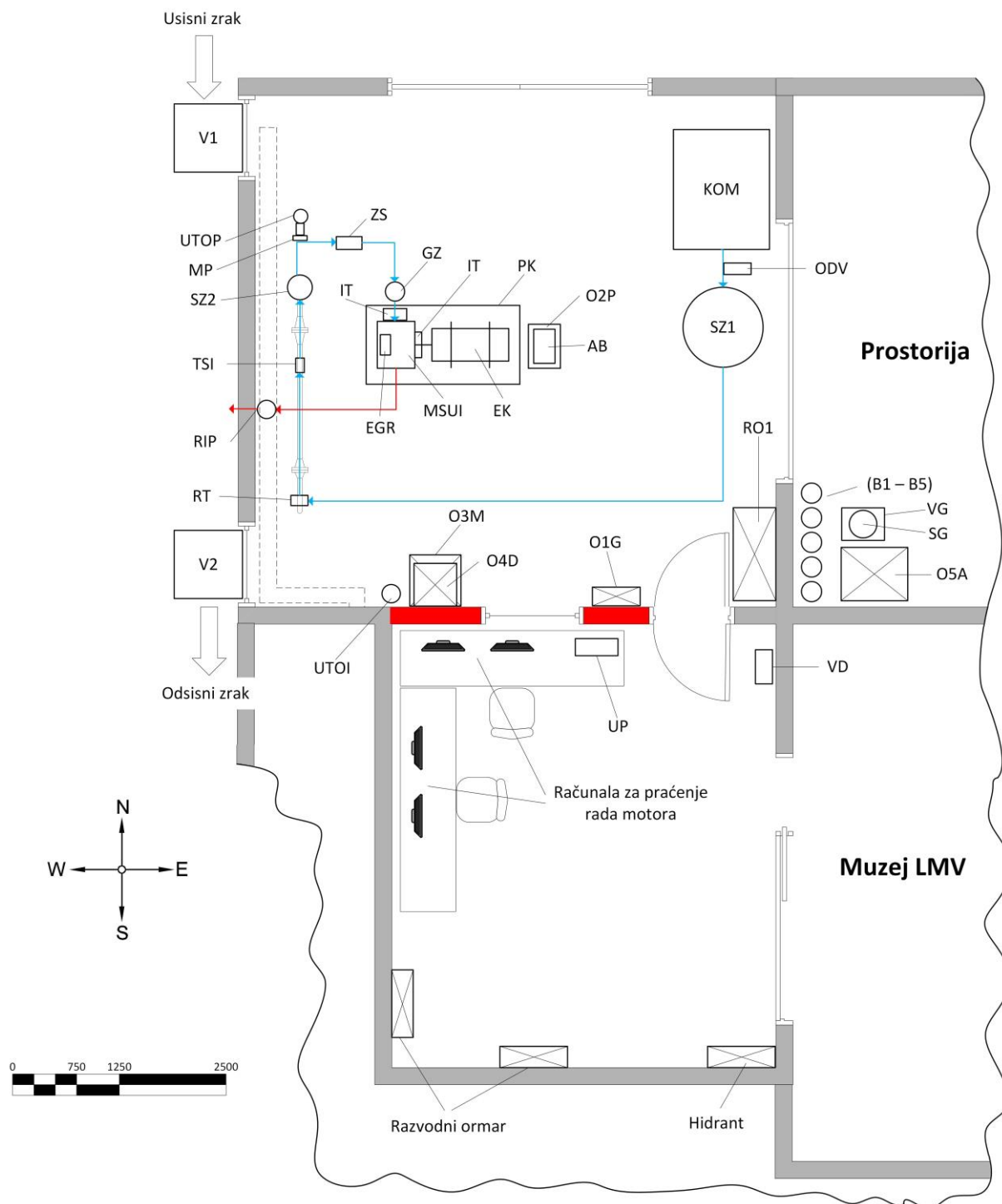
Zbog troškova i vremena građevinske radove potrebno je svesti na minimum. Pregradni zid između ispitne kabine i kontrolno-upravljačke sobe potrebno je izvesti tako da kasnije bude lako rastavljiv tj. uklonjiv. Za takvu realizaciju kao logičan izbor materijala zida nameću se gips-kartonske ploče.

Za pristup ispitnoj kabini iz kontrolno-upravljačke sobe potrebno je ugraditi dvostruka vrata, dok bi se prozor, premještanjem iz postojeće kabine, ugradio u okvir tj. nosače gips-kartonskih ploča.

Ventilaciju ispitne kabine potrebno je smjestiti što bliže ispitnom motoru. Na zapadnom zidu nove lokacije ispitne kabine nalaze se dva prozora te će oni poslužiti kao mjesto izvoda ventilacije. Kako je visina do prozora 200 cm, na zapadnom zidu ostaje dovoljno mjesta za smještaj ostalih uređaja čitavom dužinom zida. Postojeće ventilatore za dovodenje i odvođenje

zraka potrebno je ugraditi s vanjske strane ispitne kabine, dok je sam zrak potrebno dovoditi kanalnim razvodom.

Na slici 5.2 prikazano je idejno rješenje rasporeda ispitnog postava.



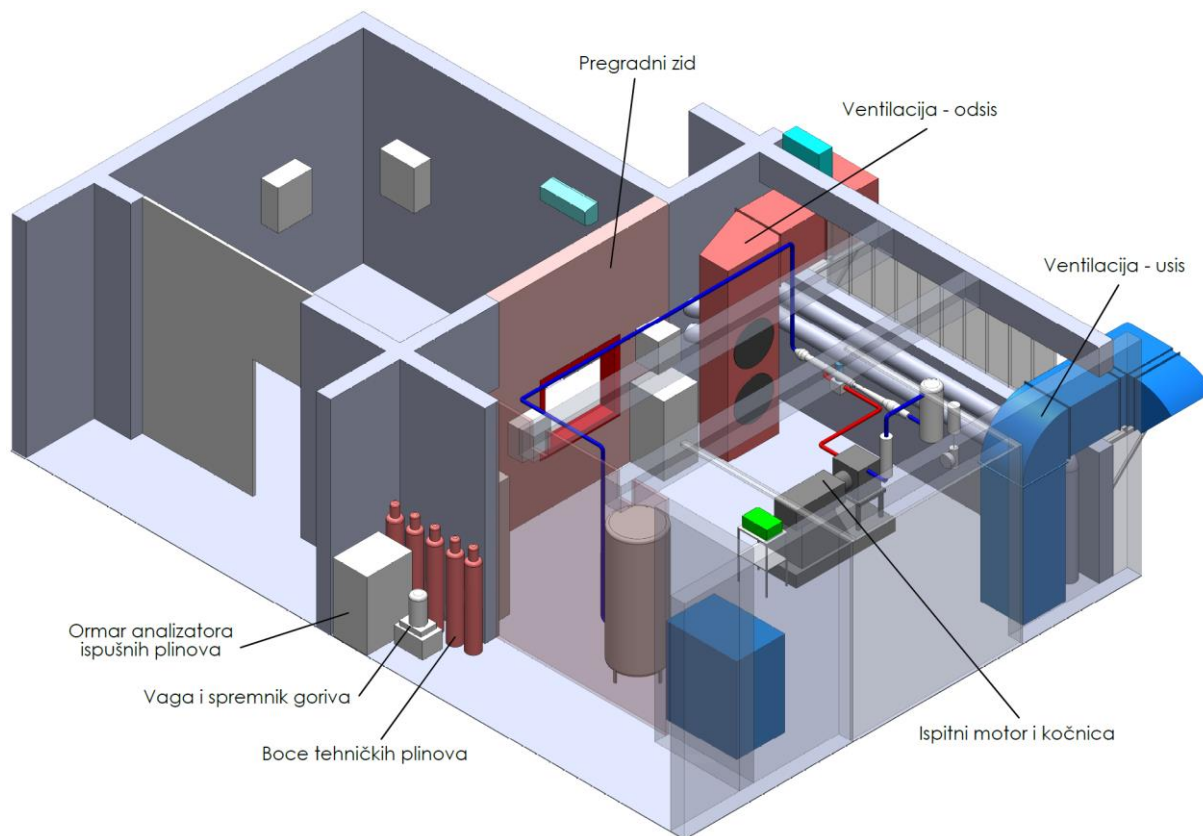
Slika 5.2 Idejno rješenje rasporeda ispitnog postava (legenda tablica 4.2)

Plavom bojom označen je tok zraka do usisne grane ispitnog motora. Od spremnika zraka SZ1 cijevima je potrebno dopremiti zrak do regulatora tlaka RT tako da se one podignu na visinu grede te dalje spuste do cijevi grijanja koje se nalaze uz zapadni zid. Crvenom bojom označen

je tok ispušnih plinova motora, a on se pak odvodi do regulatora tlaka ispušnih plinova RIP koji se nalazi ispod cijevi grijanja te od njega cijev ispuha izlazi direktno kroz zid van kabine.

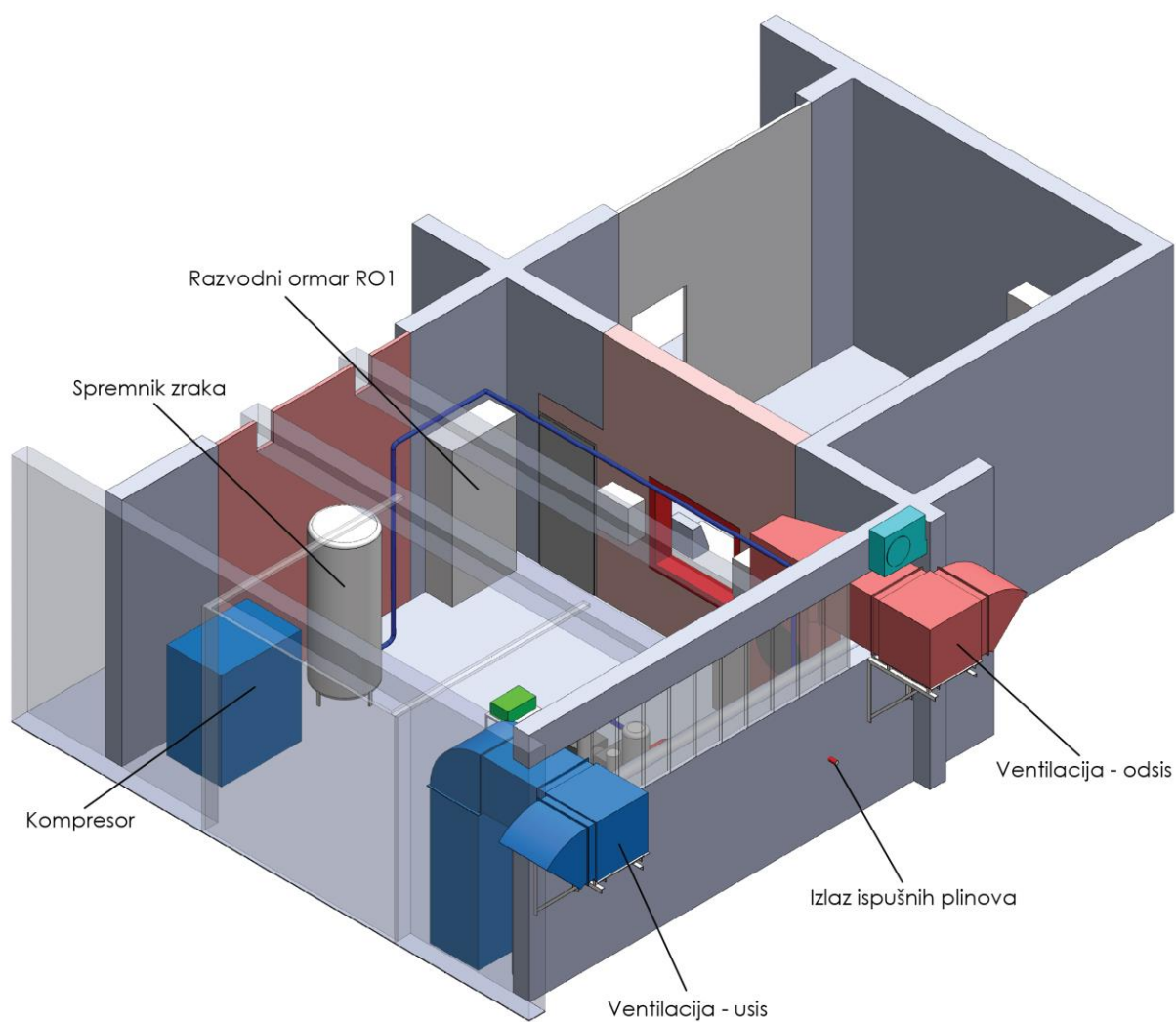
Opremu dovoda zraka i goriva, kao što je regulator tlaka RT, spremnik zraka SZ2, mjerac protoka plinova MP i dr., u ispitni motor potrebno je smjestiti uz cijevi grijanja na zapadnom zidu pomoću postojećih čeličnih i aluminijskih nosača.

Slikom 5.3 dan je prikaz CAD 3D model smještaja opreme ispitne kabine gdje su sjeverni zid, podizna garažna vrata, grede te metalna pregrada prikazani transparentno radi bolje vidljivosti ostale opreme.



*Slika 5.3 3D model rasporeda opreme ispitne kabine – pogled prema jugozapadu*

Slikom 5.4 može se vidjeti 3D model ispitne kabine iz drugog kuta, pogled prema jugoistoku.



*Slika 5.4 3D model rasporeda opreme ispitne kabine – pogled prema jugoistoku*

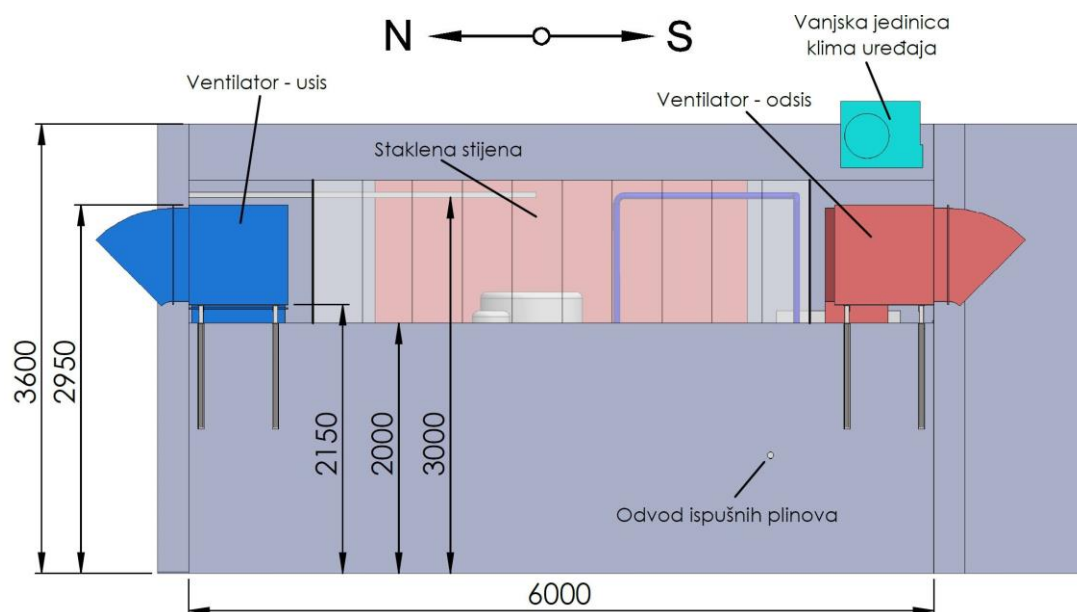
## 5.2 Sustav ventilacije nove lokacije ispitne kabine

Na slici 5.5 prikazan je trenutni izgled zapadnog zida na koji je potrebno smjestiti usisni i odsisni ventilator sustava ventilacije ispitne kabine. Širina između nosivih zidova iznosi 6 m te se ostakljeni dio proteže čitavom dužinom. Prozori koji se nalaze uz nosive stupove iskoristit će se kao otvori ventilacije dok će staklena stijena ostati netaknuta.



Slika 5.5 Trenutni izgled prozora zapadnog zida za smještaj ventilacije ispitne kabine

Slikom 5.6 prikazana je izvedba ventilacijskog sustava. Plavom bojom označen je sustav ventilacije za dovođenje svježeg zraka iz okoline, dok je crvenom označen sustav ventilacije za izbacivanje zraka iz kabine. Visina do vodilica garažnih vrata iznosi 3 m stoga ventilaciju nije moguće postaviti više, iako to otvori prozora omogućavaju.

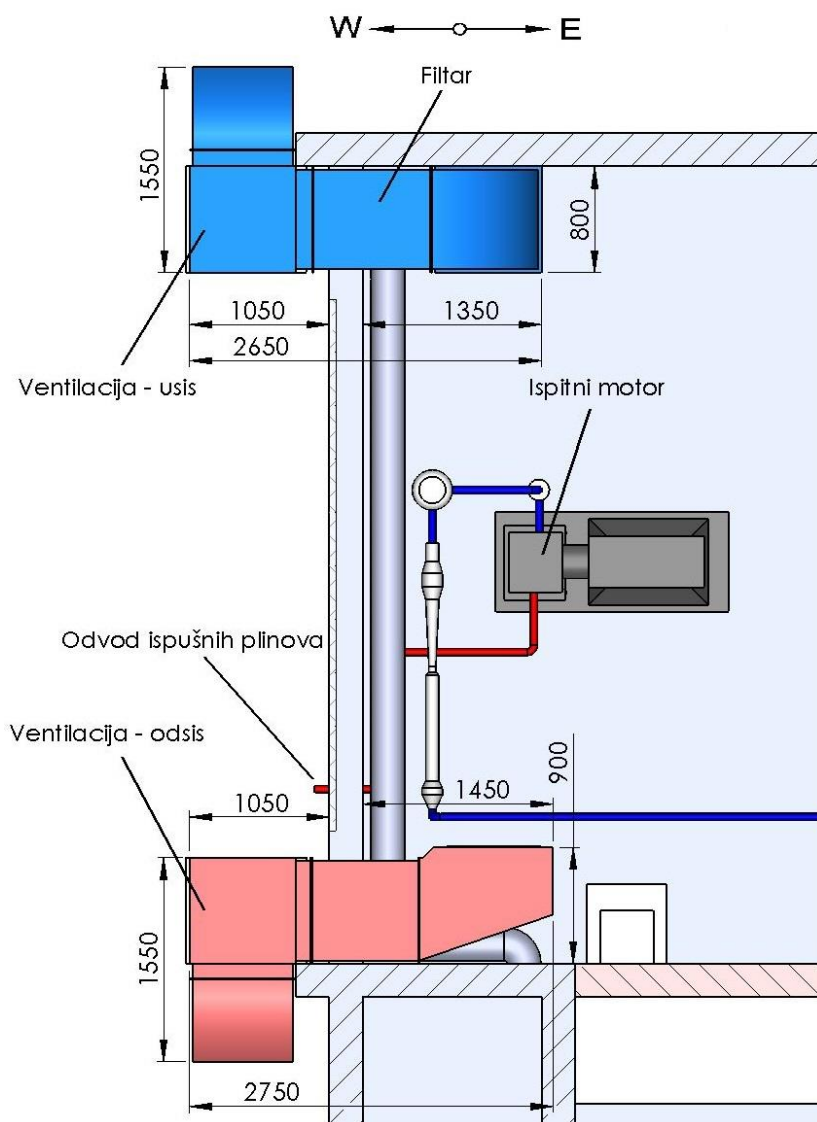


Slika 5.6 Prikaz pozicije ventilacije ispitne kabine – pogled prema istoku

U cilju smanjenja troškova preseljenja ispitnog postava potrebno je iskoristiti elemente postojećeg sustava ventilacije.

Zrak najprije ulazi u usisno koljeno čija je trenutna lokacija na krovu LMV. Kut usisnog koljena potrebno skratiti s trenutnih  $135^\circ$  na  $45^\circ$ . Zrak zatim ulazi u ventilator usisa. Spajanje ventilatora vrši se segmentom duljine 120 mm. Nakon ventilatora zrak prolazi kroz filter čija duljina iznosi 800 mm, prolazi kroz koljeno te ulazi u vertikalno postavljen element za ubacivanje zraka u ispitnu kabinu. Potrebne dimenzije tog elementa su  $800 \times 800 \times 2050$  mm.

Strujanje zraka potrebno je izvesti tako da iz vertikalno postavljenog elementa za ubacivanje zraka zrak puše prema ispitnom motoru te s njega odvodi toplinu prema odsisnom kolektoru.



Slika 5.7 Prikaz pozicije ventilacije ispitne kabine – tlocrt

Za ventilaciju izbacivanja zraka iz kabine također je potrebno iskoristiti postojeće segmente kanalnog sustava uz iznimku usisnog vertikalno postavljenog kolektora ukupne visine 2950 mm.

Presjek kvadratnih segmenata iznosi 720x720 mm, a međusobno se vijčanom vezom spajaju prirubnicama dimenzija 800x800 mm.

### 5.2.1 Kontrolni proračun sustava ventilacije nove lokacije ispitne kabine

U trećem poglavlju izračunata je ukupna količina zraka koju je potrebno dovesti i odvesti iz kabine. Za novu lokaciju ispitne kabine također će se izračunati isto uz razliku izostanka topline ispušnih plinova  $Q_{isp}$ , a razlog tomu je što je cijev ispušnih plinova potrebno izvesti direktno u okoliš. Također, razlika u odnosu na sadašnju lokaciju je i u tome što se sada prema predloženom idejnom rješenju kompresor zraka nalazi u ispitnoj kabini te je u proračun potrebno dodati njegovu toplinu zračenja.

Potrebno je izračunati potrošnju električne energije kompresora pri najvećem opterećenju ispitnog motora uz pretpostavku da najveća snaga ispitnog motora 30 kW. Volumna potrošnja zraka kod maksimalne snage ispitnog motora od 30 kW prema (1.3) iznosi:

$$\dot{V}_h = 132,2 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Maksimalan volumni protok kompresora iznosi 3,05 m<sup>3</sup>/min [12], što u vremenu od jednog sata iznosi:

$$\dot{V}_{h,komp} = 3,05 \cdot 60 = 183 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

Omjer maksimalnog mogućeg protoka zraka kompresora i volumne potrošnje zraka motora pri maksimalnoj snazi motora može se izraziti kao omjer protoka zraka:

$$n_z = \frac{\dot{V}_{h,komp}}{\dot{V}_h} = \frac{183}{132,2} \approx 1,38 \quad (1.25)$$

gdje je:

$n_z$  - omjer protoka zraka kompresora i potrošnje zraka ispitnog motora

Kako je maksimalna snaga kompresora 18,35 kW, izražunava se ekvivalentna snaga kompresora za dobavu zraka motoru pri njegovoj najvećoj snazi:

$$P_{komp,z} = \frac{P_{komp,e}}{n_z} = \frac{18,35}{1,38} = 13,3 \text{ kW} \quad (1.26)$$



Rad koji proizvodi kompresor:

$$\begin{aligned} W_{komp} &= P_{komp,z} \cdot t = 13300 \cdot 3600 = 47880000 \quad \frac{\text{J}}{\text{h}} \\ &= 47,88 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \end{aligned} \quad (1.27)$$

gdje su:

$W_{komp}$  – rad kompresora za snagu ispitnog motora od 30 kW, MJ/h

$t$  – vrijeme, s

Efektivni rad kompresora  $W_{komp,e}$  izračunat će se za pretpostavljeni stupanj korisnosti kompresora  $\eta_{komp}$  u iznosu od 0,8, u vremenu od jednog sata:

$$\begin{aligned} W_{komp,e} &= P_{komp,z} \cdot t \cdot \eta_{komp} = 13300 \cdot 3600 \cdot 0,8 = 38304000 \quad \frac{\text{J}}{\text{h}} \\ &= 38,3 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \end{aligned} \quad (1.28)$$

gdje su:

$W_{komp}$  – efektivni rad kompresora za snagu ispitnog motora od 30 kW, MJ/h

$\eta_{komp}$  – pretpostavljeni stupanj korisnosti kompresora, -

Oduzimanjem ukupnog rada i efektivnog rada kompresora za snagu ispitnog motora od 30 kW može se izračunati rad tj. toplina koju kompresor predaje okolini, odnosno koju je potrebno odvesti iz ispitne kabine.

$$Q_{komp} = W_{komp} - W_{komp,e} = 47,88 - 38,3 = 9,58 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.29)$$

Kako je ranije spomenuto, toplina ispušnih plinova neće se računati kao u poglavlju 3 jer ispušni plinovi izlaze direktno u okoliš. Ipak potrebno je uzeti u obzir zagrijavanje ispušnog sustava (ispušnih cijevi) te će se pretpostaviti da je toplina ispušnih plinova nove lokacije ispitne kabine  $Q_{isp,n}$  jednaka plovici topline ispušnih plinova postojeće ispitne kabine  $Q_{isp}$ .

$$Q_{isp,n} = \frac{Q_{isp}}{2} = \frac{109,62}{2} = 54,81 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.30)$$

Ukupna toplina koju je potrebno odvesti iz ispitne kabine izračunava se:

$$\begin{aligned} Q_{uk,n} &= Q_{hl} + Q_{zr} + Q_{isp,n} + Q_m + Q_k + Q_{komp} = \\ &= 105,84 + 7,56 + 54,81 + 18,9 + 27,22 + 9,58 = 223,91 \quad \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \end{aligned} \quad (1.31)$$

gdje su:

$$Q_{hl} = 105,84 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} - \text{toplina odvedenja hlađenjem motora (1.8),}$$

$$Q_{zr} = 7,56 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} - \text{topline zračenja motora (1.9),}$$

$$Q_{isp,n} = 18,9 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} - \text{toplina zračenja ispušnog sustava (1.30),}$$

$$Q_m = 18,9 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} - \text{toplina utrošena na mehaničke gubitke u motoru (1.11),}$$

$$Q_k = 27,22 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} - \text{toplina zračenja kočnice motora (1.13),}$$

$$Q_{komp} = 9,58 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} - \text{toplina zračenja kompresora zraka (1.29)}$$

ranije izračunate vrijednosti.

Količina protočnog zraka potrebnog za odvođenje topline prema (1.13) iznosi:

$$\dot{V}_{z,n} = \frac{Q_{uk,n}}{c_z \cdot \rho_z (\vartheta_u - \vartheta_v)} \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

gdje su:

$\dot{V}_z$  - protoči volumen,  $\text{m}^3/\text{h}$

$c_z$  - specifični toplinski kapacitet zraka,  $c_z = 1,013 \text{ kJ/kg/K}$

$\rho_z$  - gustoća zraka,  $\rho_z = 1,2 \text{ kg/m}^3$

$\vartheta_v$  - temperatura dovedenog zraka,  $^{\circ}\text{C}$

$\vartheta_u$  - temperatura odvedenog zraka,  $^{\circ}\text{C}$

Kao i u prijašnjem propračunu u trećem poglavlju, za temperaturu odvedenog zraka uzima se  $\vartheta_u = 40^{\circ}\text{C}$ , dok se za temperaturu dovedenog zraka uzima  $\vartheta_v = 25^{\circ}\text{C}$ . Tada količina zraka za odvođenje topline iznosi:

$$\dot{V}_{z,n} = \frac{223,91 \cdot 10^6}{1,013 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot (40 - 25)} = 12279,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.32)$$

S obzirom da se kompresor zraka nalazi u ispitnoj kabini ukupna količina zraka koju je potrebno dovesti u kabinu izračunava se zbrajanjem količine zraka potrebnog za odvođenje topline i potrebne količine zraka za izgaranje, prema (1.15) iznosi:

$$\dot{V}_{dov,n} = \dot{V}_{z,n} + \dot{V}_h = 12279,8 + 132,2 = 12412 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.33)$$

Za razliku od trenutne ispitne kabine, na novoj lokaciji ispušne plinove ispitnog motora potrebno je izbaciti izravno van kabine, stoga ih nije potrebno uvrstiti u izračun količine zraka koju je potrebno odvesti iz kabine  $\dot{V}_{dov,n}$ . Stoga, ukupna količina zraka kojeg je potrebno odvesti iz kabine iznosi:

$$\dot{V}_{dov,n} = \dot{V}_{z,n} = 12279,8 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.34)$$

Kako bi osigurali podtlak u ispitnoj kabini zbog mogućeg ispuštanja ispušnih plinova ova vrijednost bi trebala biti za nekoliko postotaka veća.

Usporedimo li dobivene rezultate sa specifikacijama postojećih ventilatora, za usisni ventilator maksimalan protok iznosi 15070 m<sup>3</sup>/h dok je ta vrijednost za odsisni 14843 m<sup>3</sup>/h, može se zaključiti da je sustav ventilacije zadovoljava ispitni motor snage 30 kW. Na tu činjenicu uvelike utječe temperatura usisanog zraka.

Ovdje pak treba napomenuti da je u izračunu prikazan ekstreman primjer rada ispitnog motora. Trenutni eksperimentalni ispitni motor na osnovi Hatz 1D81Z najveće je snage približno 15 kW, stoga je logično pretpostaviti da će ukupna količina potrebnog zraka biti dvostruko manja od proračunate.

Za trenutni eksperimentalni motor može se izračunati količina zraka potrebnog za dovođenje i odvođenje iz ispitne kabine za ljetnu projektnu temperaturu grada Zagreba od 32 °C. Snaga eksperimentalnog motora dvostruko je manja od najveće dopuštene snage elektromotorne kočnice ( $\approx 15$  kW), stoga je u izračun potrebno uzeti dvostruko manju količinu topline koju je potrebno odvesti iz kabine od ranije izračunate, za snagu ispitnog motora od 30 kW:

$$Q_{uk,n,15} = \frac{Q_{uk,n}}{2} = \frac{223,91}{2} = 111,955 \frac{\text{MJ}}{\text{h}} \quad (1.35)$$

gdje je:

$Q_{uk,n,15}$  – ukupna toplina koju je potrebno odvesti iz ispitne kabine za eksperimentalni motor snage 15 kW, J

Za temperaturu odvedenog zraka uzima se  $\vartheta_u = 40$  °C, dok se za temperaturu dovedenog zraka uzima  $\vartheta_v = 32$  °C. Tada količina zraka za odvođenje topline prema (1.13) iznosi:

$$\dot{V}_{z,n,15} = \frac{Q_{uk,n,15}}{c_z \cdot \rho_z \cdot (\vartheta_v - \vartheta_u)} = \frac{111,955 \cdot 10^6}{1,013 \cdot 10^3 \cdot 1,2 \cdot (40 - 32)} = 11512,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.36)$$

Ukupna količina zraka koju je potrebno dovesti u kabinu:

$$\dot{V}_{dov,n,15} = \dot{V}_{z,n,15} + \dot{V}_h = 11512,3 + 132,2 = 11644,5 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.37)$$

Ukupna količina zraka koju je potrebno odvesti iz kabine:

$$\dot{V}_{odv,n,15} = \dot{V}_{z,n,15} = 11512,3 \frac{\text{m}^3}{\text{h}} \quad (1.38)$$

Kako je vidljivo iz izraza (1.37) i (1.38) sustav ventilacije za dovođenje i odvođenje zraka u potpunosti zadovoljava svojim kapacitetom za trenutni eksperimentalni ispitni motor, čak i uz vanjsku temperaturu zraka od 32 °C.

## 5.2.2 Troškovi ventilacijskog sustava

Sljedećom tablicom dan je pregled potrebnih zahvata i dijelova za postavljanje ventilacijskog sustava na novu lokaciju ispitne kabine.

Tablica 5.1 Troškovnik ventilacijskog sustava ispitne kabine

R. Br.	Opis stavke/komponente	Jedinična mjera	Količina	Jedinična cijena, kn	Ukupna cijena, kn
1.	Izvođački radovi demontaže s postojeće lokacije i postavljanja sustav ventilacije na novu lokaciju	h	24	125,00	3 000,00
2.	Element ventilacije za ubacivanja zraka u ispitnu kabinu	kom	1	1 200,00	1 200,00
3.	Kolektor ventilacije za odvođenje zraka iz ispitne kabine	kom	1	1 200,00	1 200,00
4.	Materijal za učvršćivanje elemenata ventilacije i potrošni materijal	kompl.	1	800,00	800,00
<b>Ukupno, kn</b>					<b>6 200,00</b>

Prva stavka označava radove demontaže sustava s postojećeg mjesta ispitne kabine u potkrovlju LMV i radove postavljanja sustava ventilacije na novu lokaciju, a odnosi se na 1,5 radna dana od po 8 sati koji će obaviti dva radnik. U troškove postavljanja uračunati su i radovi prilagođavanja postojećih elemenata sustava ventilacije, kao što je npr. rezanje ili skraćivanje postojećih elemenata.

Kao što je ranije spomenuto potrebno je izraditi usisni element i kolektor ventilacije odsisa, a troškovi njihove izrade mogu se procijeniti na 1 200,00 kn. Uz to, potrebno je uračunati i potrošni materijal kao što su vijci za pričvršćivanje elemenata, te metalne šipke i profile kojima će se elementi ventilacije učvrstiti na strop i zidove ispitne kabine.

### 5.3 Unaprijeđenje sustava ventilacije

Kako temperatura ispitne kabine u vrijeme ljetnih mjeseci ovisi o temperaturi okolišnog zraka, potrebno je razmisliti i o ugradnji uređaja za kondicioniranje zraka. Za trenutni eksperimentalni motor čija količina topline koju je potrebno odvesti iz ispitne kabine prema (1.35) iznosi 111,955 MJ/h, uz dodatak volumena ispitne kabine može se izračunati potrebna snaga klimatizacijskog uređaja tj. klima komore:

$$P_{k.k} = \frac{Q_{uk,n,15}}{3,6} + P_{i.k} = \frac{111,955}{3,6} + 5,5 = 36,6 \text{ kW} \quad (1.39)$$

gdje su:

$P_{k.k}$  – potrebna snaga klima komore, kW

$Q_{uk,n,15}$  – toplota koju je potrebno odvesti iz ispitne kabine za eksperimentalni motor, MJ/h

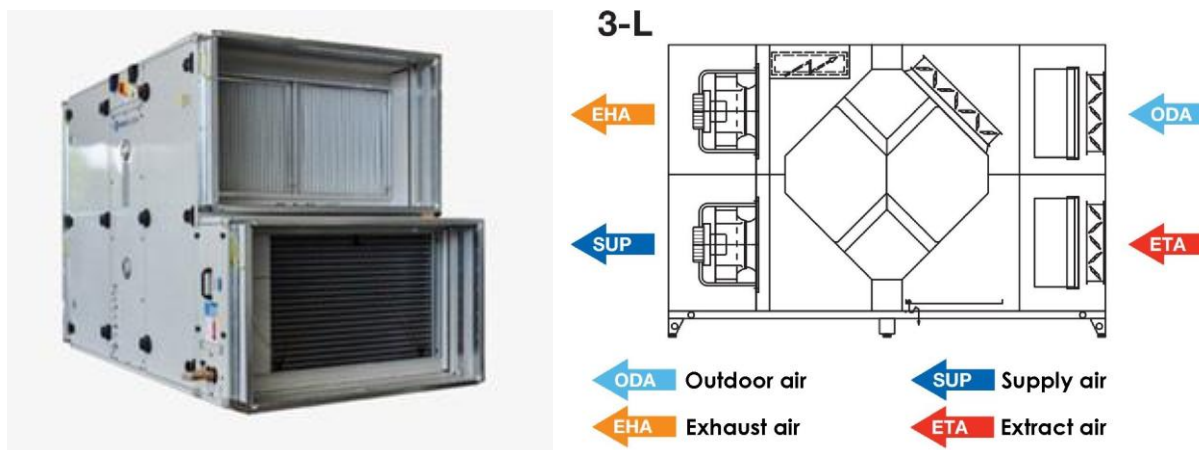
$P_{i.k}$  – potrebna snaga za hlađenje ispitne kabine bez rada kočnice, kW

Potrebna snaga za hlađenje ispitne kabine izračunava se pojednostavljenim standardnim izračunom za površinu klimatiziranog prostora u vrijednosti od 1 kW za 10 m<sup>2</sup> uz dodatak iznadprosječne visine prostorije i loše izolacije može se pretpostaviti potrebna snaga u iznosu od 5,5 kW.

S obzirom na izračunatu snagu tj. potreban kapacitet hlađenja ispitne kabine od 36,6 kW potrebno je odabrati odgovarajuću klima komoru.

Za potrebe kondicioniranja zraka ispitne kabine izabrana je klima komora hrvatskog proizvođača *Proklima*, model Compact Plate CPL 7000 s pločastim rekuperatorom kapaciteta hlađenja 40,4 kW. Ovakva klima komora s pločastim rekuperatorom ima stupanj povrata topline od preko 80 %.

Lijevo na slici 5.8 prikazana je simbolična slika klima komore Compact Plate CPL 7000, dok su desno prikazani protoci zraka za izabranu konfiguraciju 3-L.



Slika 5.8 Prikaz klima komore Compact Plate CPL 7000 (lijevo) i shematski prikaz toka zraka (desno) [16]

Tablicom 5.2 prikazani su tehnički podaci klima komore. Preporučena pozicija za ugradnju klima komore je na zapadni zid nove lokacije ispitne kabine, između ventilatora usisa i odsisa zraka za prvobitno idejno rješenje.

Tablica 5.2 Tehnički podaci klima komore [16]

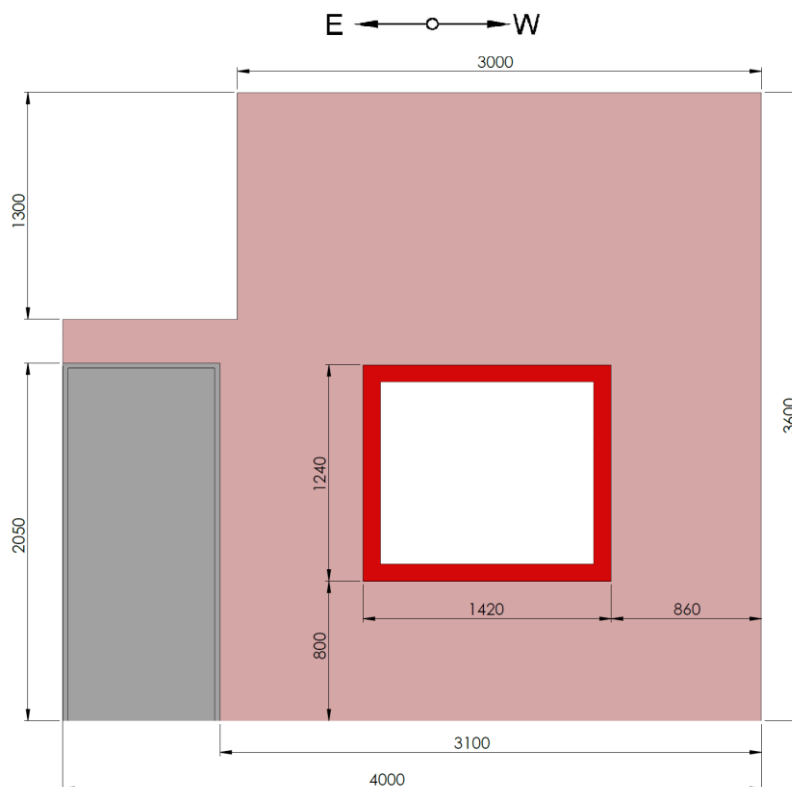
Proizvođač	Proklima
Model	Compact Plate CPL 7000-3-L-M
Nominalni protok [m <sup>3</sup> /h]	7000
Kapacitet hlađenja [kW]	40,4
Napajanje [ph-V-Hz]	3-400-50
Nominalna snaga [kW]	5,5
Jakost struje [A]	8,4
Osigurač	C20/3
Presjek naponskog kabela [mm <sup>2</sup> ]	5x2,5
Najveći pad tlaka u dobavnim i/ili povratnim kanalima [Pa]	300
Najveća razina zvučne snage [dB]	85
Dimenzije - DxŠxV [mm]	2900x1670x1770
Masa [kg]	1160

## 5.4 Pregradni zid ispitne kabine i kontrolne sobe

Gips-kartonske ploče namijenjene su upotrebi u izgradnji odnosno pregrađivanju unutrašnjeg prostora. Ovim pločama izvode se pregradni zidovi čija svojstva zvučne i toplinske izolacije nisu lošija od klasičnih pregradnih zidova, za manju cijenu i brzinu gradnje. Kako su gipsanokartonske ploče razmjerno lagane i elastične, mogu se savijati, lako rezati i ugraditi na drvenu ili metalnu potkonstrukciju, te završno obraditi i bojati, stoga se koriste kao tzv. suha gradnja pregradnih zidova.

S obzirom na debljinu postojećeg sigurnosnog prozora koji bi se iskoristio od 300 mm, debljinu zida potrebno je prilagoditi na sličnu mjeru. Kako sami profili na koje se postavljaju gips-kartonske ploče nisu dovoljno čvrsti, podkonstrukciju za ugradnju vrata i prozora potrebno je izvesti odgovarajućim metalnim nosačima odnosno profilima.

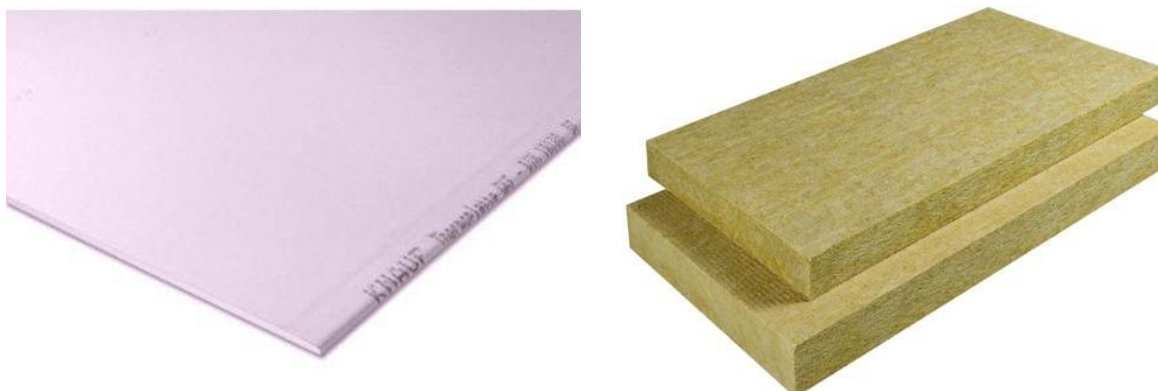
Površina pregradnog zida iznosi 13,1 m<sup>2</sup> uključujući vrata i prozor, odnosno 9,5 m<sup>2</sup> oduzme li se površina istih. Dimenzije pregradnog zida prikazane su slikom 5.9.



*Slika 5.9 Prikaz dimenzija pregradnog zida ispitne kabine i kontrolne sobe (pogled prema jugu)*

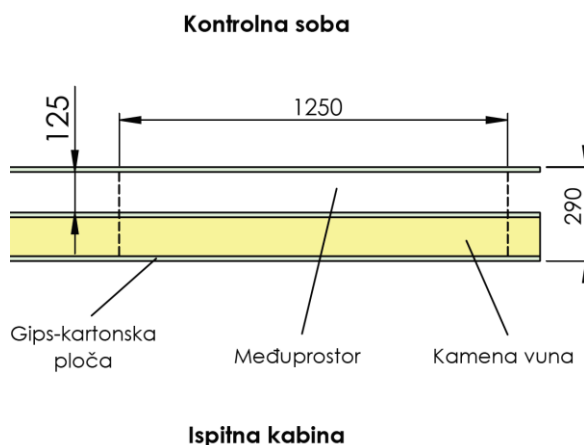
Izabrana je protupožarna impregnirana gipsanokartonska ploča tipa DF-15 proizvođača *Knauf* [17] čije dimenzije iznose (ŠxVxD) 1250x2500x15 mm (slika 5.10 - lijevo), površina jedne ploče iznosi 3,125 m<sup>2</sup>.

S obzirom na spomenutu debljinu zida prostor između gipsanokartonskih ploča nije potrebno u cijelosti ispuniti izolacijom. Stoga bi bilo potrebno pregradni zid posložiti u dva segmenta kako je prikazano slikom 5.8.



*Slika 5.10 Prikaz gipsanokartonke ploče (lijevo), i kamene vune za izolaciju (desno)*

Prvi segment je onaj do ispitne kabine. Između dvije gipsanokartonske ploče nalazi se izolacija širine 120 mm. Zatim na razmaku od 125 mm do strane kontrolne sobe postavlja se još jedna gipsanokartonska ploča te se time zid i njegova unutarnja potkonstrukcija potpuno zatvara. Nosači gipsanokartonskih ploča potrebno je razmaknuti za 1250 mm koliko iznosi širina samih ploča.



*Slika 5.11 Presjek pregradnog zida*

Kako su izolacijske ploče unutarnjih zidova razmjerno tanke za izolaciju između dvije gipsanokartonske ploče izabrane su fasadne izolacijske ploče od kamene vune FKD-S Thermal proizvođača *Knauf* [18], debljine 120 mm (slika 5.10 desno). Dimenzije ploče kamene vune iznose (ŠxVxD) 400x1200x120 mm.



Osnovna svojstva izolacijske ploče:

- protupožarna izolacija, potpuno negoriv materijal - razred reakcije na požar A1,
- toplinska izolacija, niska vrijednost koeficijenta toplinske provodljivosti  $k = 0,035$  W/mK,
- zvučna izolacija, odlična apsorpcija zvuka, gusta, vlaknasta struktura materijala.

Za učvršćivanje gipsanih ploča potrebno je postaviti metalne profile UW 125/40/06 spajanjem na strop i pod objekta, dok je CW 125/50/06 profile potrebo postaviti vertikalno uz zid, rubove prozora i vrata te na razmaku od 1250 mm, kolika je širina gipsanokartonskih ploča. CW profili se postavljaju u dva reda po debljini zida.

#### 5.4.1 Troškovi postavljanja pregradnog zida

U troškove postavljanja pregradnog zida od gips-kartonskih ploča treba uračunati i troškove postavljanja metalne podkonstrukcije za učvršćivanje sigurnosnih vrata te sigurnosnog prozora. Noseća podkonstrukcija vrata i prozora sastoji se od profiliranih metalnih horizontalnih i vertikalnih dijelova koji su pričvršćeni nosačima za postojeće zidove objekta. Radni sati računaju se za dva radnika po 8 sati.

Uzme li se u obzir površina samog zida od  $9,5 \text{ m}^2$  te pridoda li se na to 20 % na otpad, dobiva se da je za 3 reda gipsanokartonskih ploča (površina jedne ploče iznosi  $3,125 \text{ m}^2$ ) potrebno 12 ploča ukupne površine  $37,5 \text{ m}^2$ . Izolacijski ploča potrebno je  $11,52 \text{ m}^2$  tj. 8 pakiranja od po  $1,44 \text{ m}^2$ . Profili UW 125/40/06 postavljaju se na pod i strop, te je potrebna količina 8 m, dok je CW 125/50/06 profila potrebana količina u iznosu od 48 m.

S obzirom na nedovoljnu širinu metalnog nosača nadvoja prostorije predviđene za novu lokaciju ispitne kabine, postojeća sigurnosna vrata nije moguće ugraditi. Potrebno je ugraditi dvoja metalna standardna vrata, najveće širine dovratnika do 90 cm, visine 205 cm. Zbog zvučne izolacije oboja vrata je potrebno s unutarnje strane obložiti kamenom vunom ili sličnim izolacijskim materijalom protupožarnih svojstava debljine 30 mm.

Tablica 5.3 Troškovnik postavljanja pregradnog zida ispitne kabine i kontrolne sobe

R. Br.	Opis stavke/komponente	Jedinična mjera	Količina	Jedinična cijena, kn	Ukupna cijena, kn
1.	a) gips-kartonske ploče <i>Knauf</i> DF-15 - 12 ploča površine 3,125 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	37,5	30,00	1 125,00
	b) izolacijske ploče <i>Knauf</i> insulation FKD-S Thermal - 8 pakiranja od 1,44 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	11,52	100,00	1 152,00
	c) metalni profil UW 125/40/06 - duljina 4 m - 2 komada	m	8	15,00	120,00
	d) metalni profil CW 125/50/06 - duljina 4 m - 12 komada	m	48	15,00	720,00
	e) potrošni materijal - vijci i tiple za spajanje UW profila - spojnice	-	-	-	500,00
2.	Metalna vrata s dovratnikom, - punjenje kamenom vunom debljine 30 mm	kom	2	1 500,00	3 000,00
3.	Izvođački radovi postavljanja vrata; demontaža sigurnosnog prozora s postojeće lokacije te ugradnja u pregradni zid	h	16	125,00	2 000,00
4.	Radovi postavljanja gipsanokartonskog pregradnog zida - 2x8,9 m <sup>2</sup> ≈ 18 m <sup>2</sup> (dvostuka debljina zida) - gletanje, priprema za bojanje	m <sup>2</sup>	18	100,00	1 800,00
Ukupno, kn					10 417,00

## 5.5 Sustav klimatizacije kontrolne sobe

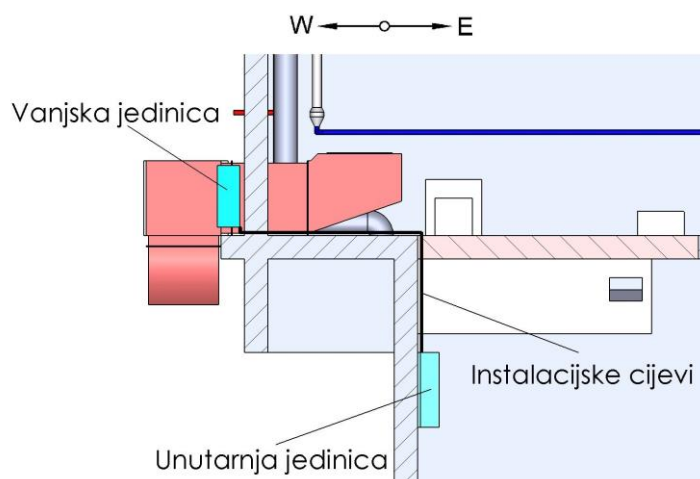
Trenutni sustav klimatizacijskog uređaja koji se nalazi u ispitnoj kabini je kazetni (stropni) split sustav talijanske marke Aermec. Kako bi takav sustav zahtijevao dodatne preinake stropa nove lokacije kontrolne sobe, jednostavnije i jeftinije rješenje je nabava novog uređaja. Za sustav klimatizacije ispitne kabine potrebno je ugraditi novi uređaj, klasični split sustav s odvojenom vanjskom i unutarnjom jedinicom.

Površina kontrolne sobe iznosi 23,4 m<sup>2</sup> i uzme li se uvriježena procjena od 1 kW instalirane snage na površinu od 10 m<sup>2</sup> te uzme li se u obzir iznadprosječna visina prostorije od 3,6 m može se zaključiti kako bi potrebna snaga za hlađenje iznosila oko 3 kW. Odabrani uređaj sustava klimatizacije je japanske marke Toshiba, uređaj Mirai RAS-13BKV-E učinka hlađenja 3,1 kW.

Tablica 5.4 Tehnički podaci split sustava klimatizacijskog uređaja kontrolne sobe [19]

Proizvođač	Toshiba
Model	Mirai RAS-13BKV-E
Kapacitet hlađenja (kW)	3,1
Kapacitet grijanja (kW)	3,6
Energetska klasa	A+
Rashladno sredstvo	R410
Priključak el. energije – hlađenje (W)	180-1150-1330
Priključak el. energije – grijanje (W)	150-960-1240
Napajanje (ph-V-Hz)	1-220-50
Dimenzije unutarnje jedinice – ŠxVxD (mm)	798x293x230
Dimenzije vanjske jedinice – ŠxVxD (mm)	660x530x240
Protok zraka unutarnje jedinice (m <sup>3</sup> /h)	618
Protok zraka vanjske jedinice (m <sup>3</sup> /h)	990
Razina zvučne snage u.j. (dB)	57
Razina zvučne snage v.j. (dB)	63

Pozicija ugradnje vanjske jedinice uređaja je iznad ventilatora odsisanog zraka. Probojem vanjskog zapadnog zida kabine cijevi do unutarnje jedinice potrebno je postaviti uz južni zid kabine, te probojem gips-kartonske pregrade do kontrolne sobe (slika 5.12). Unutarnju jedinicu potrebno je postaviti na zapadni zid kontrolne sobe na visinu od oko 2,8 m, udaljenu od gips-kartonske pregrade oko 1 m. Time duljina cijevi vanjske i unutarnje jedinice ne bi prelazila 4 m. Cijena odabranog klimatizacijskog uređaja iznosi približno 3 500,00 kn, dok se trošak ugradnje uređaja može procijeniti na 1 500,00 kn, zbog nešto dulje instalacije od standardnih 3 m duljine.



Slika 5.12 Prikaz pozicije ugradnje klimatizacijskog uređaja kontrolne sobe

## 5.6 Sustav cirkulacije vode

Voda za hlađenje EGR ventila i dizelskog goriva trenutnog postava ispitne kabine dobavlja se direktno iz vodovodne gradske mreže te zagrijana otpušta u kanalizaciju. U svrhu smanjenja troškova dovođenja priključka vode te kanalizacije na novu lokaciju ispitne kabine potrebno je napraviti mali zatvoreni sustav cirkulacije vode.

Sustav cirkulacije vode potreban za ispitnu kabinu sličan je automobilskom. Kako je učinak hlađenja relativno mali, dovoljna je količina vode od 50 litara. Za takav sustav potrebna je pumpa vode, spremnik zraka te zrakom hlađeni hladnjak.



Slika 5.13 Pumpa vode (lijevo)[20] i ekspanzijska posuda 50 l (desno) [21]

Slikom 5.13 prikazan je primjer moguće potrebnih uređaja zatvorenog sustava cirkulacije vode. Pumpa vode proizvođača *Ferro* 25-60 snage (0,55 – 1,0 kW) protoka (3 – 75 l/min). Ekspanzijska posuda *Simera* kapaciteta 50 litara.

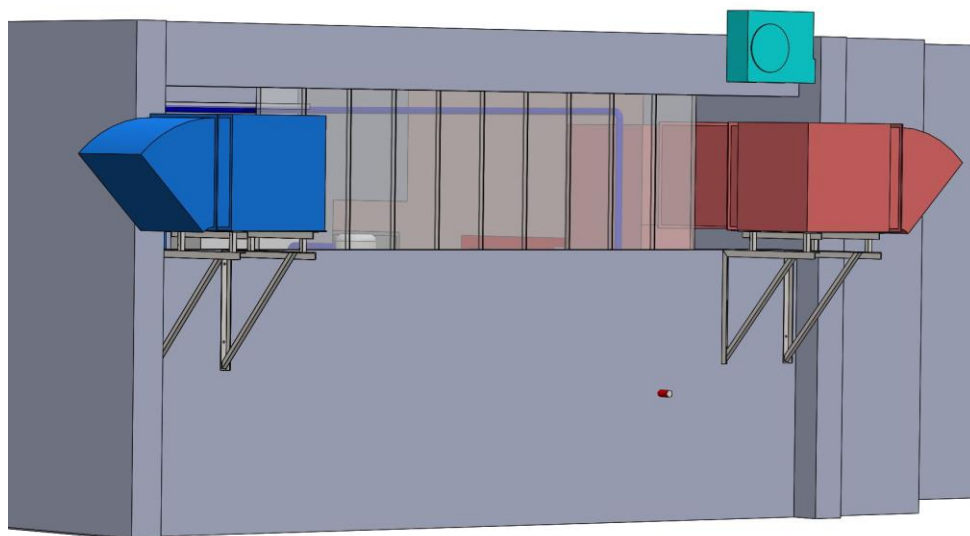
## 6. Nosači ventilacije

Kućišta ventilatora za usis i odsis zraka potrebno je pričvrstiti na zapadni zid ispitne kabine. Premda su segmenti ventilacije razmjerno laki za ventilatore i koljena za usis tj. odsis zraka potrebno je konstruirati odgovarajuće nosače na koji bi se spomenuti dijelovi oslonili.



*Slika 6.1 3D model nosača ventilacije*

Na slici 6.1 prikazan 3D model je nosača ventilacije. Nosač je konstruiran pomoću L profila (norma EN 10056) i kvadratnih šavnih cijevi (norma EN 10219) te gornje ploče debljine 5 mm. Konstrukcija je zavarena te ju je pomoću četiri sidrena vijka potrebno pričvrstiti na zid. Smještaj nosača prikazan je slikom 6.2.



*Slika 6.2 3D prikaz pozicije nosača ventilacije – pogled prema zapadnom zidu*

## 6.1 Proračun nosača ventilacije

Nosač ventilacije potrebno je proračunati u najkritičnijim točkama, a to su zavar kvadratne cijevi na spoju sa L profilom koji se nalazi do zida, te vijci kojim se nosač učvršćuje u zid.

Dijelovi kojima je nosač opterećen, gleda li se sustav ventilacije usisanog zraka, su ventilator, koljeno, filter te dvija spojna segmenta ventilatora. Kako je dio segment filtra potrebno s jedne strane učvrstiti na strop ispitne kabine, uzeti će se polovica njegove mase. Elementi ventilacije usisa svježeg zraka veće su mase nego elementi ventilacije odsisa zraka iz kabine, stoga se u proračun ide upravo s njim.

Zbroj masa  $m_t$  pojedinih elemenata koji opterećuju nosač iznosi:

$$m_t = m_k + m_v + \frac{1}{2} m_f + 2 \cdot m_s = 15 + 104 + \frac{1}{2} 20 + 2 \cdot 3 = 135 \quad \text{kg} \quad (1.40)$$

gdje su:

$m_k$  - masa koljena ventilacije usisa, kg

$m_v$  - masa ventilatora usisa, kg

$m_f$  - masa elementa filtra usisa, kg

$m_s$  - masa spojnog elementa, kg

Nakon izračunavanja masa potrebno je izračunati silu  $F_t$  kojom teret tj. spomenuti elementi djeluju na nosač:

$$F_t = m_t \cdot g = 135 \cdot 9,81 = 1324,35 \quad \text{N} \quad (1.41)$$

gdje je:

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  - gravitacijsko ubrzanje

Uz silu tereta za daljnji proračun u obzir je potrebno uzeti i težinu nosača. Masa nosača iznosi  $m_n = 56,2 \text{ kg}$  te se množenjem gravitacijskim ubrzanjem dobiva težina nosača:

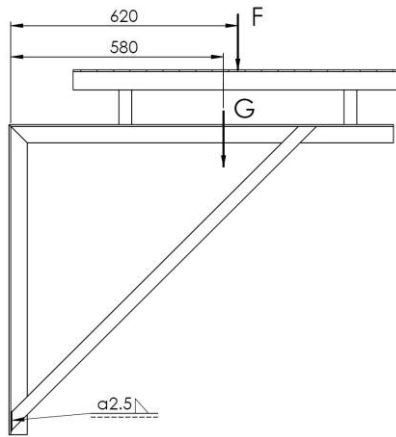
$$G_n = m_n \cdot g = 56,2 \cdot 9,81 = 551,32 \quad \text{N} \quad (1.42)$$

gdje je:

$m_n$  - masa nosača, kg

### 6.1.1 Proračun zavora nosača

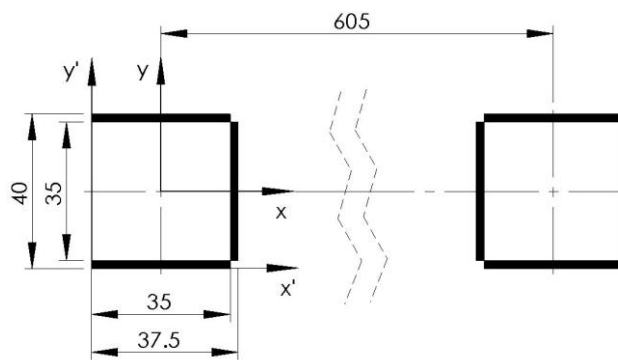
Djelovanje opterećenja na nosač, težina tereta i težina samog nosača prikazana je slikom 6.3 uz pretpostavku da sila tereta djeluje na sredini ploče nosača. Potrebno je kontrolirati zavar između šavne kvadratne cijevi i L profila koji se naslanja na zid.



Slika 6.3 Opterećenje nosača ventilacije

Moment savijanja  $M_f$  uslijed djelovanja vertikalne sile tereta  $F_t$  i težine nosača  $G_n$  iznosi:

$$M_{f,zav} = F_t \cdot 0,62 + G_n \cdot 0,58 = 821,1 + 319,8 = 1140,9 \quad Nm \quad (1.43)$$



Slika 6.4 Dimenzije zvara kvadratnih cijevi i L profila

Razmak između kvadratnih cijevi iznosi 605 mm, a zbog jednostavnosti daljnjeg proračuna naprezanja zavora uslijed savijanja uzet će se u obzir samo jedna strana zavora. S obzirom na simetričnost konstrukcije nosača, opterećenje momentom savijanja koje dijele oko osi x može se rastaviti na dva jednaka dijela.

Površina zavora  $A_z$  iznosi:

$$A_z = 3 \cdot 2,5 \cdot 35 = 262,5 \quad mm^2 \quad (1.44)$$

Položaj težišta zavora iznosi:

$$y_t = \frac{\sum y_j \cdot A_j}{\sum A_j} = \frac{1,25 \cdot (2,5 \cdot 35) + 20 \cdot (2,5 \cdot 35) + 38,75(2,5 \cdot 35)}{262,5} = 20 \text{ mm} \quad (1.45)$$

Moment tromosti zavora:

$$I_{x,zav} = \left( \frac{2,5^3 \cdot 35}{12} + 1,25^2 \cdot 2,5 \cdot 35 \right) + \left( \frac{2,5 \cdot 35^3}{12} + 20^2 \cdot 2,5 \cdot 35 \right) + \left( \frac{2,5^3 \cdot 35}{12} + 48,75^2 \cdot 2,5 \cdot 35 \right) = 2,9521 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \quad (1.46)$$

Moment tromosti zavora u težištu:

$$I_{xt,zav} = I_{x,zav} - y_t^2 \cdot \sum A_i = 2,9521 \cdot 10^5 - 20^2 \cdot 262,5 = 1,9021 \cdot 10^5 \text{ mm}^4 \quad (1.47)$$

Najveća udaljenost presjeka od promatrane osi:

$$e = 20 \text{ mm}$$

Moment otpora zavora:

$$W_{x,zav} = \frac{I_{xt,zav}}{e} = \frac{1,9021 \cdot 10^5}{20} = 9510,5 \text{ mm}^3 \quad (1.48)$$

Savojno naprezanje zavora uslijed djelovanja sile tereta  $F_t$  i težine nosača  $G_n$  iznosi:

$$\sigma_{f,zav} = \frac{M_f / 2}{W_{x,zav}} = \frac{1140900 / 2}{9510,5} = 59,98 \text{ N/mm}^2 \quad (1.49)$$

Prema tehničkim propisima uzima se da je smično naprezanje jednoliko raspoređeno po presjeku zavora i da ga preuzimaju samo zavori paralelni sa smjerom djelovanja smične sile, sila tereta  $F_t$  i težine nosača  $G_n$ , iznosi:

$$\tau_{zav} = \frac{F_t + G_n}{A_{II,z}} = \frac{1324,35 + 551,32}{175} = \frac{1875,67}{175} = 10,71 \text{ N/mm}^2 \quad (1.50)$$

Površina zavora paralelna s opterećenjem  $A_z$  iznosi:

$$A_{z,tan.} = 2 \cdot (2,5 \cdot 35) = 175 \text{ mm}^2$$

Reducirano naprezanje zavora iznosi:

$$\sigma_{red,z} = \sqrt{\sigma_{f,zav}^2 + 3 \cdot \tau_{zav}^2} = \sqrt{59,98^2 + 3 \cdot 10,71^2} = 62,78 \text{ N/mm}^2 \quad (1.51)$$

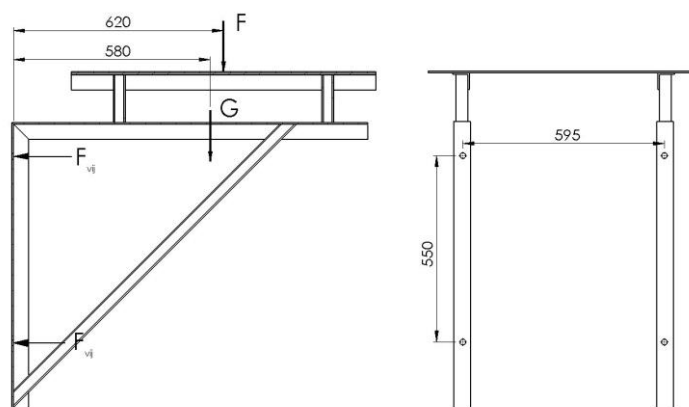


Dopušteno naprezanje zavara za pogonsku grupu B4 i kvalitetu zavara I prema [22] iznosi:

$$\sigma_{dop,z} = 90 \text{ N/mm}^2 \geq \sigma_{red,z} = 62,78 \text{ N/mm}^2$$

### 6.1.2 Proračun vijaka nosača

Nosač ventilacije potrebno je učvrstiti u zid pomoću četiri sidrena vijka. Raspored vijaka prikazan je slikom 6.5. Vijci čije su dimenzije M16 x 125 razreda čvrstoće 8.8. proizvoljno su odabrani, stoga će se proračunom provjeriti zadovoljavaju li odabrani vijci proračun vijčanog spoja.



Slika 6.5 Prikaz opterećenja nosača i pozicije vijaka

Najviše su opterećena gornja dva vijka te polovica ukupnog momenta savijanja  $M_f$  djeluje na jedan vijak. Opterećenje jednog vijka uslijed momenta savijanja  $M_f$  koji je izračunat u prethodnom poglavlju iznosi:

$$F_{vij} = \frac{M_f / 2}{A_{vij}} = \frac{1140900 / 2}{144} = 3961,45 \text{ N} \quad (1.52)$$

Za vijak prema [23] M16 površina jezgre iznosi:

$$A_{vij} = 144 \text{ mm}^2$$

Vlačno naprezanje jednog vijka uslijed momenta  $M_y$  iznosi:

$$\sigma_{f,vij} = \frac{F_{vij}}{A_{vij}} = \frac{3961,45}{144} = 27,51 \text{ N/mm}^2 \quad (1.53)$$

Opterećenje jednog vijka na smik:

$$\tau_{vij} = \frac{F_t + G_n}{4 \cdot A_{vij}} = \frac{1324,35 + 551,32}{4 \cdot 144} = 3,25 \text{ N/mm}^2 \quad (1.54)$$

Reducirano naprezanje najopterećenijeg vijka iznosi:

$$\sigma_{red,vij} = \sqrt{\sigma_{f,vij}^2 + 3 \cdot \tau_{vij}^2} = \sqrt{27,51^2 + 3 \cdot 3,25^2} = 28,08 \text{ N/mm}^2 \quad (1.55)$$

Za kvalitetu odabranih vijaka 8.8 dopušteno naprežanje iznosi:

$$\sigma_{dop,vij} = \frac{R_e}{S} = \frac{640}{2,5} = 256 \text{ N/mm}^2 \quad (1.56)$$

gdje je:

$S = 2,5$  - odabrani faktor sigurnosti

Kontrola naprežanja najopterećenijeg vijka:

$$\sigma_{dop,vij} = 256 \text{ N/mm}^2 \geq \sigma_{red,vij} = 28,08 \text{ N/mm}^2$$

## 6.2 Trošak izrade nosača ventilacije

Trošak izrade dva nosača ventilacije prikazan je tablicom 6.1. Nosač je sastavljen od standardnih L profila, kvadratne cijevi i toplo valjanog lima debljine 5 mm. Kako je pozicija nosača na otvorenom prostoru potrebno je nanijeti antikorozivnu zaštitu metodom vrućeg pocinčavanja.

Tablica 6.1 Troškovnik izrade dva nosača ventilacije

R. Br.	Opis stavke/komponente	Jedinična mjera	Količina	Jedinična cijena, kn	Ukupna cijena, kn
1.	L profil 50x50x5 (EN 10056) - S235JRG2 - isporuka kom. 6 m	m	12	25,00	300,00
2.	Kvadratna šavna cijev 35x35x4 (EN 10219) - S235JRG2 - isporuka kom. 6 m	m	6	20,00	120,00
3.	Toplo valjana lim 5 mm - S235JRG2 - isporuka kom. 1000x2000 mm	m <sup>2</sup>	2	250,00	500,00
4.	Izrada nosača - rezanje i spajanje profila - zavarivanje	h	8	150,00	1 200,00
5.	Vruće pocinčavanja nosača - 2 nosača = 112,4 kg	kg	113	4,00	452,00
Ukupno, kn					2 572,00

## 7. Procjena troškova preseljenja ispitnog postava

Tablicom 7.1 prikazan je troškovnik potrebnih radova i elemenata koje je potrebno uključiti u troškove preseljenja ispitnog postava. Tablice troškova opisanih u ranijim poglavljima navedene se u ovoj tablici.

Tablica 7.1 Troškovnik

<b>I. Ventilacijski sustav ispitne kabine</b>					
<b>R. Br.</b>	<b>Opis stavke/komponente</b>	<b>Jedinična mjera</b>	<b>Količina</b>	<b>Jedinična cijena, kn</b>	<b>Ukupna cijena, kn</b>
1.	Izvođački radovi demontaže s postojeće lokacije i postavljanja sustav ventilacije na novu lokaciju	h	24	125,00	3 000,00
2.	Element ventilacije za ubacivanja zraka u ispitnu kabinu	kom	1	1 200,00	1 200,00
3.	Kolektor ventilacije za odvođenje zraka iz ispitne kabine	kom	1	1 200,00	1 200,00
4.	Materijal za učvršćivanje elemenata ventilacije i potrošni materijal	kompl.	1	800,00	800,00
<b>Ukupno, kn</b>					<b>6 200,00</b>
<b>II. Pregradni zid ispitne kabine i kontrolne sobe</b>					
<b>R. Br.</b>	<b>Opis stavke/komponente</b>	<b>Jedinična mjera</b>	<b>Količina</b>	<b>Jedinična cijena, kn</b>	<b>Ukupna cijena, kn</b>
1.	a) gips-kartonske ploče <i>Knauf</i> DF-15 - 12 ploča površine 3,125 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	37,5	30,00	1 125,00
	b) izolacijske ploče <i>Knaufinsulation</i> FKD-S Thermal - 8 pakiranja od 1,44 m <sup>2</sup>	m <sup>2</sup>	11,52	100,00	1 152,00
	c) metalni profil UW 125/40/06 - duljina 4 m - 2 komada	m	8	15,00	120,00
	d) metalni profil CW 125/50/06 - duljina 4 m - 12 komada	m	48	15,00	720,00
	e) potrošni materijal - vijci i tiple za spajanje UW profila; spojnice	kompl.	1	500,00	500,00

2.	Metalna vrata s dovratnikom, - punjenje kamenom vunom debljine 30 mm	kom	2	1 500,00	3 000,00
3.	Izvođački radovi postavljanja vrata; demontaža sigurnosnog prozora s postojeće lokacije te ugradnja u pregradni zid	h	16	125,00	2 000,00
4.	Radovi postavljanja gipsanokartonskog pregradnog zida - 2x8,9 m <sup>2</sup> ≈ 18 m <sup>2</sup> (dvostuka debljina zida) - gletanje, priprema za bojanje	m <sup>2</sup>	18	100,00	1 800,00
<b>Ukupno, kn</b>					<b>10 417,00</b>

### III. Klimatizacijski sustav kontrolne sobe

R. Br.	Opis stavke/komponente	Jedinična mjera	Količina	Jedinična cijena, kn	Ukupna cijena, kn
1.	Klimatizacijski uređaj Toshiba Mirai RAS-13BKV-E (3,1/3,6 kW)	kom	1	3 500,00	3 500,00
1.	Radovi postavljanja klimatizacijskog uređaja	kom	1	1 500,00	1 500,00
<b>Ukupno, kn</b>					<b>5 000,00</b>

### IV. Nosači ventilacije

R. Br.	Opis stavke/komponente	Jedinična mjera	Količina	Jedinična cijena, kn	Ukupna cijena, kn
1.	L profil 50x50x5 (EN 10056) - S235JRG2 - isporuka kom. 6 m	m	12	25,00	300,00
2.	Kvadratna šavna cijev 35x35x4 (EN 10219) - S235JRG2 - isporuka kom. 6 m	m	6	20,00	120,00
3.	Toplo valjana lim 5 mm - S235JRG2 - isporuka kom. 1000x2000 mm	m <sup>2</sup>	2	250,00	500,00
4.	Izrada nosača - rezanje i spajanje profila - zavarivanje	h	8	150,00	1 200,00
5.	Vruće pocinčavanja nosača - 2 nosača = 112,4 kg	kg	113	4,00	452,00

Ukupno, kn					2 572,00
V. Ostali troškovi					
R. Br.	Opis stavke/komponente	Jedinična mjera	Količina	Jedinična cijena, kn	Ukupna cijena, kn
1.	Odvoz postojećih stvari s lokacije predviđene za ispitnu kabinu	h	16	100,00	1 600,00
2.	Demontaža opreme s postojeće lokacije i ugradnja/pozicioniranje na novu lokaciju	h	48	100,00	4 800,00
3.	Materijal potreban za ugradnju opreme na novu lokaciju: - dodatni nosači za pozicioniranje opreme i senzora oko ispitnog motora - materijal za ugradnju postolja kočnice - dodatne cijevi i kablovi	kompl.	1	2 000,00	2 000,00
4.	Radovi obrade okvira prozora oko ventilacije	kom	2	500,00	1 000,00
5.	Radovi instalacije sustava cirkulacije rashladne vode - pumpa vode - ekspanzijska posuda	kompl.	1	1 500,00	1 500,00
7.	Soboslikarski radovi ispitne kabine i kontrolne sobe	m <sup>2</sup>	200	15,00	3 000,00
Ukupno, kn					13 900,00
Rekapitulacija troškova					
Stavka					Cijena stavke, kn
I. Ventilacijski sustav ispitne kabine					6 200,00
II. Pregradni zid ispitne kabine i kontrolne sobe					10 417,00
III. Klimatizacijski sustav kontrolne sobe					5 000,00
IV. Nosači ventilacije					2 572,00
V. Ostali troškovi					13 900,00
Ukupno, kn					38 089,00

Pod stavkom V. prikazani su ostali troškovi koje je potrebno uračunati u preseljenje ispitnog postava i bitno je naglasiti da troškovi uvelike ovise o izvođačima radova i količini potrebnih novih komponenata/dijelova kao što su npr. nosači uređaja i kablova oko ispitnog motora. Za dobivene troškove od 38 089,00 kn potrebno je dodati 10 do 20 % za moguće izvanredne troškove, a tada se može računati na iznos od oko 45 000,00 kn.

## **8. Zaključak**

Cjelokupni ispitni postav za ispitivanje malih motora s unutarnjim izgaranjem Laboratorija za motore i vozila vrlo je složen sustav. Ovim radom obuhvaćeni su i dokumentirani najvažniji ugrađeni uređaji i mjerna oprema te opisani podsustavi ispitnog postava.

Prikazano je i razrađeno idejno rješenje pozicioniranja opreme ispitnog postava na novu lokaciju prostorije čija je trenutna namjena ispitivanje sidrišta sjedala.

Kako je za provođenje ispitivanja motora s unutarnjim izgaranjem zadanih snaga potrebno upuhivati, odnosno odsisavati određene količine zraka, napravljen je kontrolni proračun potrebne količine zraka, kako za trenutnu lokaciju ispitnog postava, tako i za buduću, te se može zaključiti kako je sustav ventilacije dovoljan za ispitivanje trenutno postavljenog eksperimentalnog motora. Uz to, dan je i prijedlog unaprijeđenja sustava ventilacije ugradnjom klima komore.

Na kraju rada dan je prijedlog konstrukcije nosača sustava ventilacije prema predloženom idejnom rješenju kao i troškovnik potrebnih radova i komponenti za preseljenje ispitnog postava.

## LITERATURA

- [1] *Pavković B. i suradnici*: Laboratorijske vježbe u termotehnici, Vježba 10: Kočenje motora; RITEH, Rijeka, 2007.
- [2] *Mahalec I., Lulić Z., Kozarac D., Šagi G.*: Motori, motorna vozila praktikum – Ispitivanje motora na kočnici; FSB, Zagreb, 2005.
- [3] *Bišćan P.*: Završni rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2010.
- [4] *Petrović M.*: Ispitivanje električnih mašina; Akademski misao, Beograd, 2000.
- [5] Online portal studenata i inženjera strojarstva; svibanj 2017.:  
<https://me-mechanicalengineering.com/dynamometer-introduction-types/>
- [6] *Alan Kühner*: Diplomski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2008.
- [7] *I. Mahalec, Z. Lulić, D. Kozarac*: skripta Motori s unutarnjim izgaranjem, Zagreb, 2010.
- [8] Proračun dobitka topline, Tehnički studio – Instalacije Zgrada, svibanj 2017.:  
<https://www.fsb.unizg.hr/termolab/nastava/IZ-Proracun%20dobitaka%20topline-v03.pdf>
- [9] Grijanje, ventilacija i klima uređaji Systemair AB; lipanj 2017.:  
<https://www.systemair.com/Global/Products/fans--accessories/rectangular--square-duct-fans/square-duct-fans/mub/MUB-062-630D4-A2-IE2-Multibox/>
- [10] Grijanje, ventilacija i klima uređaji Systemair AB; lipanj 2017.:  
<https://www.systemair.com/ar-AE/UAE/Products/fans--accessories/rectangular--square-duct-fans/thermo-multibox/mubt/MUBT-062-630D4-IE2/>
- [11] *D. Friščić, H. Pauković*: Upravljanje električnom kočnicom za ispitivanje motora s unutarnjim izgaranjem, Fakultet elektrotehnike i računarstva Sveučilišta u Zagrebu Zagreb, 2015.
- [12] Tehnički podaci kompresora Boge SD 24-2; lipanj 2017.:  
<http://www.tehnogama.com/files/Teh.podaci%20SD.pdf>
- [13] Službeni list Europske unije, Direktiva 2002/49/EC:  
<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/HR/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&rid=1>
- [14] Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, (NN 20/03); lipanj 2017.:  
[http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004\\_10\\_145\\_2548.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2004_10_145_2548.html)
- [15] Pravilnik o zaštiti radnika od izloženosti buci na radu, (NN 59/96, 94/96, 114/03 i 100/04); lipanj 2017.:  
[http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008\\_04\\_46\\_1577.html](http://narodne-novine.nn.hr/clanci/sluzbeni/2008_04_46_1577.html)
- [16] Tehnički podaci Proklima CPL 7000; srpanj 2017.:  
<http://www.aeonline.ae/prokpakt-1092940/file-files/Proklima-ProkPAKT-V13-EN.pdf>
- [17] Knauf Hrvatska, *Knauf* ploča DF-15; srpanj 2017.:  
<http://www.knauf.hr/hr/pro/proizvod/suha-gradnja/ploce/knauf-ploca-df-15-20#showtab-karakteristike>

- [18] Prodajni centar Ikoma, *Knauf* kamena vuna FKD-S; srpanj 2017.:  
<http://www.ikoma.hr/hr/fasade/kamena-vuna-za-fasade/kamena-vuna-za-fasade-12-cm-fkd-s-thermal-6216/>
- [19] Rashladna i klima tehnika *Frigo-kor*, tehnički podaci klimatizacijskog uređaja Toshiba; srpanj 2017.:  
<http://www.frigo-kor.hr/Rainbow/Detaljiizvoda/tabid/296/rbpid/20105811/Default.aspx>
- [20] Prodajni centar Ikoma, cirkulacijska pumpa ; srpanj 2017.:  
<http://www.ikoma.hr/hr/grijanje-na-drva/cirkulacijske-pumpe-za-centralno-grijanje/cirkulacijska-pumpa-ferro-25-60-l-180-4802/>
- [21] Prodajni centar Ikoma, ekspanzijska posuda; srpanj 2017.:  
<http://www.ikoma.hr/hr/grijanje-na-drva/ekspanzijske-posude-za-centralna-grijanja/ekspanziona-posuda-50-litara-za-centralna-grijanja-1410/>
- [22] Z. Herold: Stezni i zavareni spoj, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb
- [23] B. Kraut.: Strojarski priručnik, Zagreb, 2009.



## **PRILOZI**

- I. CD-R disk
- II. Tehnička dokumentacija
- III. Shema 1
- IV. Shema 2
- V. Shema 3